

Universidade Federal do Rio de Janeiro

MODELAGEM DE VIADUTO UTILIZANDO PROGRAMAS COMERCIAIS DE  
ANÁLISE DE ESTRUTURAS

Amanda dos Santos Ribeiro

2013



## MODELAGEM DE VIADUTO UTILIZANDO PROGRAMAS COMERCIAIS DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS

Amanda dos Santos Ribeiro

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessária à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Cláudia Ribeiro Eboli

Rio de Janeiro

Abril, 2013

MODELAGEM DE VIADUTO UTILIZANDO PROGRAMAS COMERCIAIS DE  
ANÁLISE DE ESTRUTURAS

Amanda dos Santos Ribeiro

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO  
DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

---

Prof. Cláudia Ribeiro Eboli, D.Sc.

---

Prof. Henrique Innecco Longo, D.Sc.

---

Prof. Ricardo Valeriano Alves, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL DE 2013

Ribeiro, Amanda dos Ribeiro

Modelagem de Viaduto Utilizando Programas Comerciais de Análise de Estrutura/ Amanda dos Santos Ribeiro. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

IX, 87 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Cláudia Ribeiro Eboli

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Curso de Engenharia Civil, 2013.

Referências Bibliográficas: p73.

1. Introdução. 2.Características Gerais do Projeto. 3.Modelo SAP2000. 4. Modelo SOFISTIK. 5. Comparação. 6. Considerações Finais. I. Eboli, Cláudia Ribeiro. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Curso de Engenharia Civil. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças e iluminado meu caminho para que pudesse concluir mais uma etapa da minha vida.

Agradeço aos meus pais, José e Gilza, pelo amor, carinho e apoio dedicados à minha criação, por ensinar valores e ter dado toda a estrutura para me tornar a pessoa que sou hoje. A vocês dedico este trabalho.

À minha irmã Nathália, pela convivência e amizade durante todo o tempo. Aos meus familiares, em especial ao meu avô Geraldo.

Ao meu namorado André, pelo amor, cumplicidade e compreensão. Obrigado por ter me aturado nos momentos de estresse e estar ao meu lado quando eu mais precisei.

Aos meus amigos de Duque de Caxias, em especial a minha grande amiga Juliana, por me proporcionar momentos de descontração e pelos incentivos.

Aos amigos do Fundão que caminharam ao meu lado nessa longa jornada. Com vocês ficou mais fácil chegar até aqui.

À professora Cláudia Eboli, que me orientou neste trabalho. Obrigada pelos ensinamentos não só neste projeto, mas em toda a graduação.

Aos demais professores desta escola, que contribuíram na minha formação.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

## MODELAGEM DE VIADUTO UTILIZANDO PROGRAMAS COMERCIAIS DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS

Amanda dos Santos Ribeiro

Abril, 2013

Orientadora: Cláudia Ribeiro Eboli

Curso: Engenharia Civil

Este projeto visa a modelagem computacional de um viaduto rodoviário projetado em 1980, utilizando dois programas mundialmente difundidos de análise de estrutura, SAP2000 e SOFISTIK. Inicialmente, são apresentadas as características gerais da estrutura e das ações consideradas, seguindo as recomendações das normas brasileiras atuais. Na continuação, são exibidas, em detalhes, as modelagens computacionais em ambos os programas, apresentando a comparação das plataformas e dos resultados obtidos, além das envoltórias provenientes de combinações no estado limite últimos. Por fim, são feitas as considerações finais.

*Palavras-chave:* modelagem computacional, análise de estrutura, SAP2000, SOFISTIK.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

## OVERPASS MODELING USING THE BUSINESS SOFTWARES STRUCTURE ANALYSIS

Amanda dos Santos Ribeiro

April/2013

Advisor: Cláudia Ribeiro Eboli

Course: Civil Engineering

This project aims the computational modeling of an overpass road designed in 1980, using two softwares globally recognized in structure analysis, SAP2000 and SOFISTIK. Initially, the general characteristics of the structure and actions according to current standards of Brazil are presented. Besides, will be shown in detail, the computational modeling using both softwares is presented, displaying and comparing the platforms and the results obtained, beyond the combinations for the limit state design. Finally, the concluding remarks are made.

*Keywords:* computational modeling, structure analysis, SAP2000, SOFISTIK.

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO .....	3
2.1.	Materiais .....	4
2.2.	Fôrmas .....	4
2.3.	Propriedades Geométricas de Seções Típicas.....	8
2.4.	Ações e Carregamentos .....	8
2.4.1.	Peso Próprio – G1 .....	10
2.4.2.	Sobrecarga Permanente – G2 .....	10
2.4.3.	Protensão no Tempo Infinito .....	12
2.4.4.	Gradiente de Temperatura .....	14
2.4.5.	Carga Móvel .....	16
2.5.	Combinações.....	19
3.	MODELO SAP2000.....	21
3.1.	Material.....	21
3.2.	Geometria.....	22
3.2.1.	Superestrutura.....	22
3.2.2.	Mesoestrutura .....	28
3.2.3.	Discretização e Vistas do Modelo .....	31
3.3.	Carregamentos .....	33
3.3.1.	Carregamentos de peso próprio.....	33
3.3.2.	Carregamentos distribuídos .....	33
3.3.3.	Gradiente de temperatura.....	34
3.3.4.	Carga móvel.....	34
4.	MODELO SOFISTIK .....	40
4.1.	Informações Gerais .....	40
4.2.	Geometria.....	42
4.2.1.	Discretização e Vistas do Modelo .....	48
4.3.	Carregamentos .....	49
4.3.1.	Carregamento de peso próprio.....	49
4.3.2.	Sobrecarga permanente.....	49
4.3.3.	Gradiente de temperatura.....	49
4.3.4.	Carga móvel.....	51
5.	COMPARAÇÃO.....	52
5.1.	Plataformas .....	52
5.1.1.	Módulos especializados.....	52
5.1.2.	Geometria .....	52



5.2.	Resultados .....	54
5.2.1.	Diagramas de Esforços Devidos aos Carregamentos .....	55
5.2.2.	Envoltória das Combinações no Estado Limite Último .....	68
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	71
6.1.	Conclusão.....	71
6.2.	Sugestões para Futuros Trabalhos .....	72

# **1. INTRODUÇÃO**

O objetivo deste trabalho é a modelagem computacional de um viaduto rodoviário em concreto protendido, projetado em 1980, utilizando dois programas mundialmente difundidos de análise de estruturas, SAP2000 e SOFISTIK, que terão seus resultados, suas facilidades e dificuldades de manuseio comparadas.

O projeto original utilizou as normas brasileiras de pontes rodoviárias, de concreto armado e de concreto protendido, em vigor na época. As ações e suas combinações serão atualizadas com base nas prescrições das normas brasileiras atuais:

ABNT NBR 6118:2003

ABNT NBR 7187:2003

ABNT NBR 7188:1984

ABNT NBR 8681:2003

A motivação para realização deste trabalho foi oportunidade de desenvolver um modelo de análise de ponte em dois programas de uso comercial, SAP2000 e SOFISTIK.

Outro fator que também motivou a escolha foi a possibilidade de aprofundar os conhecimentos nas cadeiras de concreto armado e pontes.

O texto encontra-se dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo 2: Características Gerais do Projeto – Nesta seção são apresentados os materiais utilizados, a geometria, as ações, os carregamentos atuantes na estrutura e as combinações de esforços solicitantes.

Capítulo 3: Modelo SAP2000 – É apresentada a metodologia de modelagem do SAP2000, expondo-a de forma sequencial, explorando os recursos utilizados neste programa.

Capítulo 4: Modelo SOFISTIK – É apresentada de forma sequencial a metodologia do SOFISTIK para a criação do modelo, explorando os recursos utilizados.

Capítulo 5: Comparação – São apresentados gráficos com os resultados obtidos de ambos os programas, para os carregamentos isolados e envoltórias. Apresentando também a comparação entre as plataformas do programa.

Capítulo 6: Conclusão – Neste capítulo, todas as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento deste trabalho são sintetizadas.

## 2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO

O objetivo deste capítulo é apresentar as características gerais do viaduto e de seu projeto, com os detalhes relevantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Numa visão geral, trata-se de um viaduto rodoviário de eixo reto, com 13 m de largura, 66 m de comprimento e lajes de transição com 4 m de extensão. Conforme apresentado na figura 2.1, a estrutura é aporticada, com vão central de 40 m, balanços extremos de 9 m e dois trechos intermediários de 4m entre as duplas de pilar.

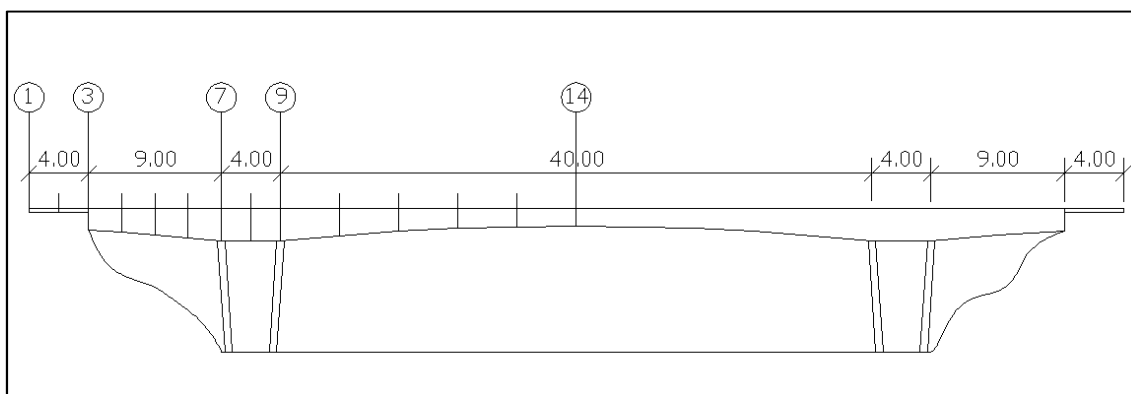


Figura 2.1 – Vista de elevação

A superestrutura é formada por viga protendida com a seção caixão de dimensões variáveis nos trechos em balanço e no vão central, mantendo-se constante nos trechos intermediários. Na figura 2.1 está indicada a numeração das seções transversais.

A mesoestrutura é formada por duas duplas de pilares maciços com 7,55 m de altura, e seção transversal retangular variável, com seções de topo e de base iguais a: 6,49 m x 0,5m e 4,97m x 0,5m, respectivamente. Os pilares são prolongados como transversinas.

A infraestrutura em cada dupla de pilares é constituída por 22 estacas metálicas cravadas e conectadas aos pilares por um bloco de coroamento retangular de 7,0m por 6,20m.

## 2.1. Materiais

Os materiais empregados a superestruturas foram:

### a) Concreto

A superestrutura foi projetada com concreto de  $f_{ck}$  igual a 26 MPa. Seguindo a simplificação do item 8.5.2 da NBR 7187:2003, que se admite no cálculo das solicitações considerarem a estrutura como não fissurada, adotando-se o momento de inércia da seção bruta do concreto e o módulo de elasticidade secante. Portanto:

$$E_{cs} = 0,85 \times 5600 \times f_{ck}^{1/2}$$

$$E_{cs} = 24300 \text{ MPa}$$

onde:

$E_{cs}$  – Módulo secante

### b) Aço para o concreto armado

Aço CA-50:  $f_{yk} \geq 500 \text{ MPa}$

### c) Aço para protensão

Aço CP-190 RB

Foram utilizados 10 cabos, cada um com 19 cordoalhas de 12,7 mm de diâmetro, com módulo de elasticidade igual a 195 GPa.

## 2.2. Fôrmas

A figura 2.2 mostra a seção transversal típica da superestrutura do viaduto. Nota-se que as dimensões que variam são a altura  $H$  da viga e, por consequência, a largura  $l_{l.inf.}$  da laje inferior, já que a angulação das almas se mantêm constantes, a espessura  $h$  da laje inferior e as larguras das almas, que engrossam na região próxima aos apoios.

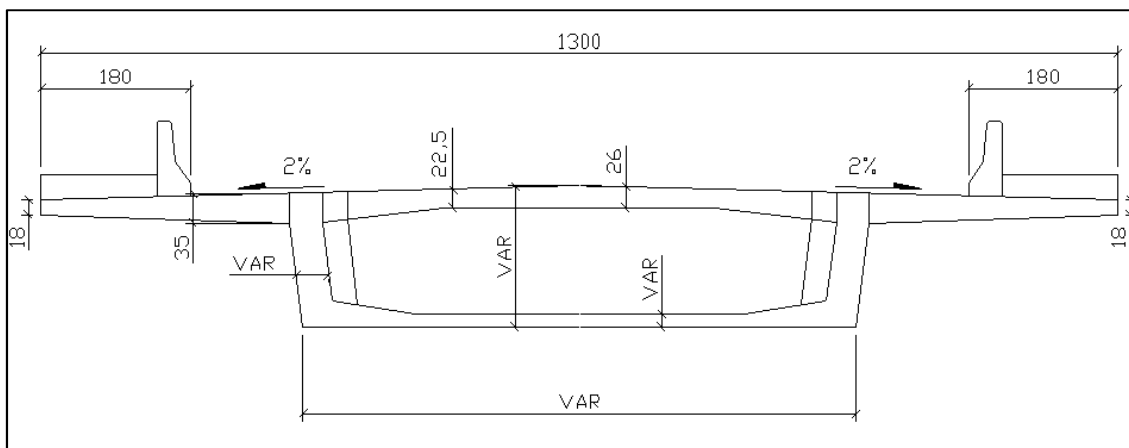


Figura 2.2 – Seção transversal típica do trecho – unidades em cm

O corte longitudinal apresentado na figura 2.3, indica a variação da altura total e a espessura da laje inferior, que por questão de simetria foi representado apenas à metade da extensão total, da seção 3, da extremidade do balanço, à seção 14, a meio vão. A tabela 2.1 apresenta todas as dimensões variáveis da superestrutura ao longo de seu comprimento, seguindo a numeração exposta na figura 2.1.

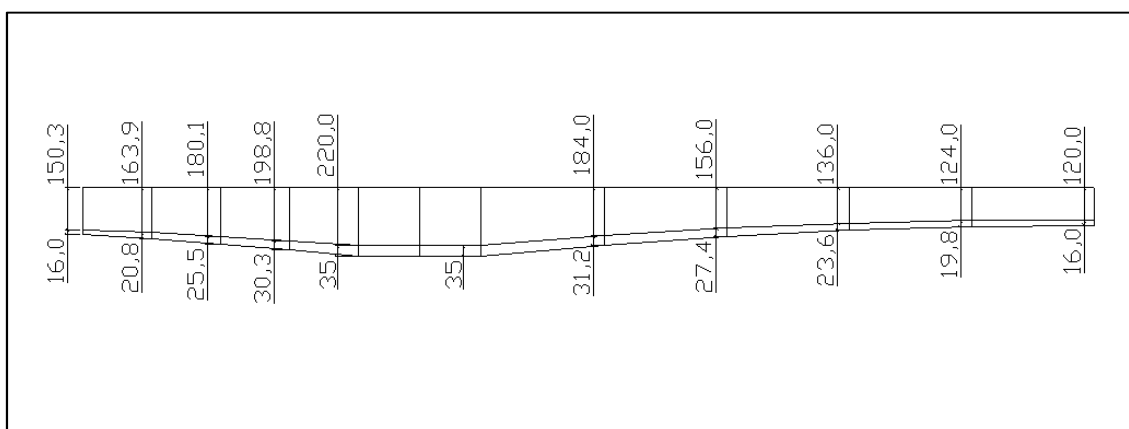


Figura 2.3 – Corte longitudinal com a altura total da seção e espessura da laje inferior (unidades em cm).

Fonte: Memorial de Cálculo do Projeto Original.

Seções	X (m)	Altura da Seção (m)	Largura da Lj. Inf. (m)	Espessura da Lj.Inf. (m)	Espessura da Alma (m)
3	0	1,503	6,683	0,160	0,800
4	2,25	1,639	6,646	0,208	0,800
5	4,5	1,801	6,601	0,255	0,800
6	6,75	1,988	6,550	0,303	0,867
7	9	2,200	6,492	0,350	1,400
8	11	2,200	6,492	0,350	1,400
9	13	2,200	6,492	0,350	1,400
10	17	1,840	6,591	0,312	0,800
11	21	1,560	6,667	0,274	0,800
12	25	1,360	6,722	0,236	0,800
13	29	1,240	6,755	0,198	0,800
14	33	1,200	6,766	0,160	0,800

Nas figuras 2.4 a 2.6, são apresentados cortes longitudinais de trechos relevantes do viaduto, extraídos das plantas originais do projeto.

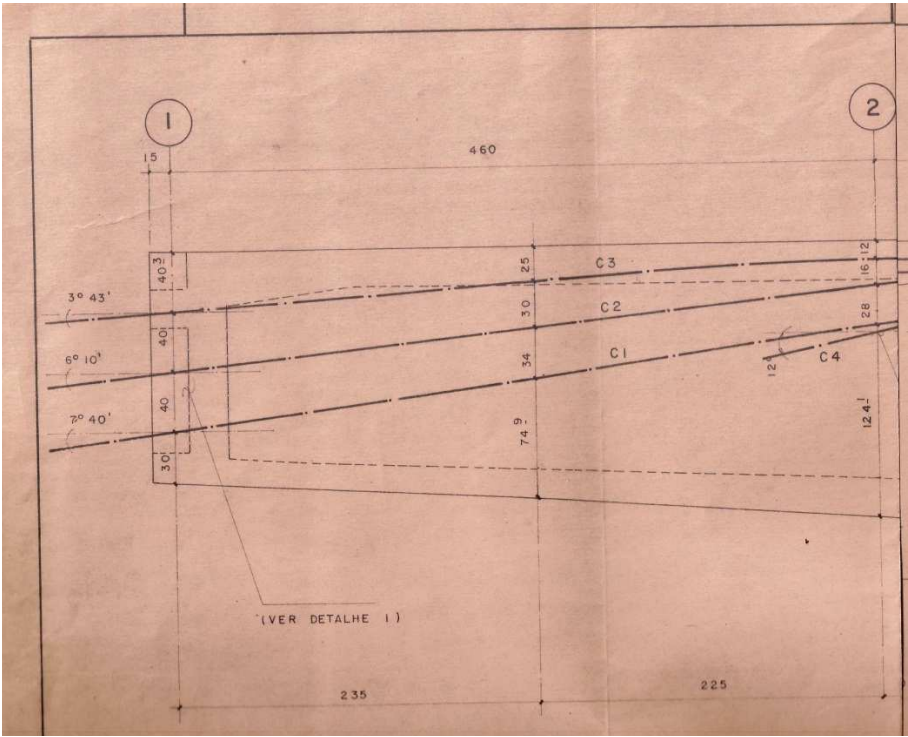


Figura 2.4 – Corte Longitudinal – Extremidade do Balanço (cm).

Fonte: Memorial de Cálculo e Plantas de Fôrmas e Armação do Projeto Original.

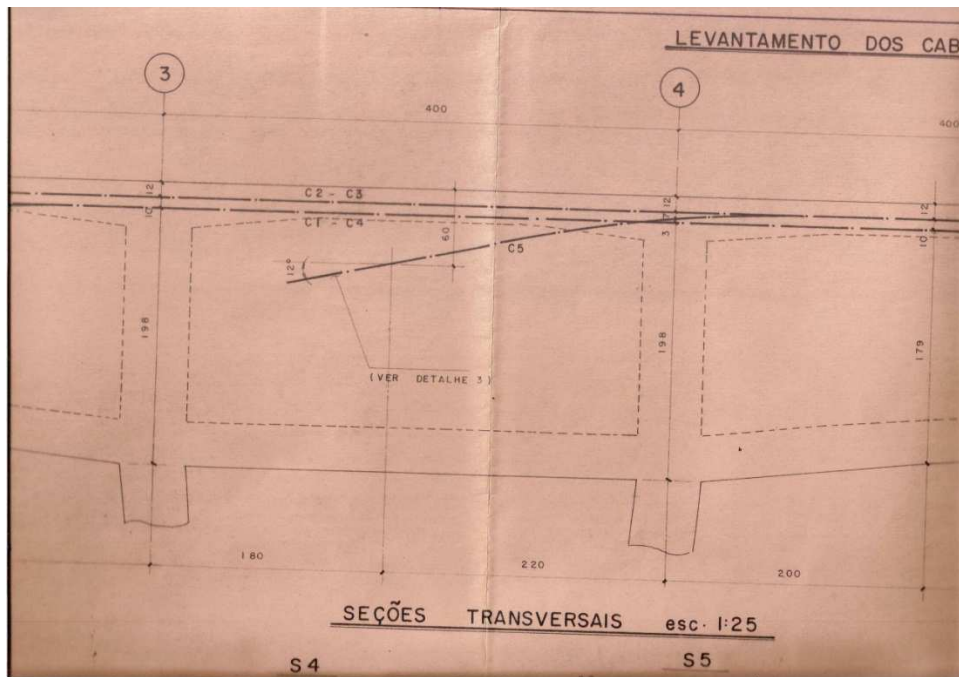


Figura 2.5 – Corte Longitudinal – Região do Apoio (cm)

Fonte: Memorial de Cálculo e Plantas de Fôrmas e Armação do Projeto Original.

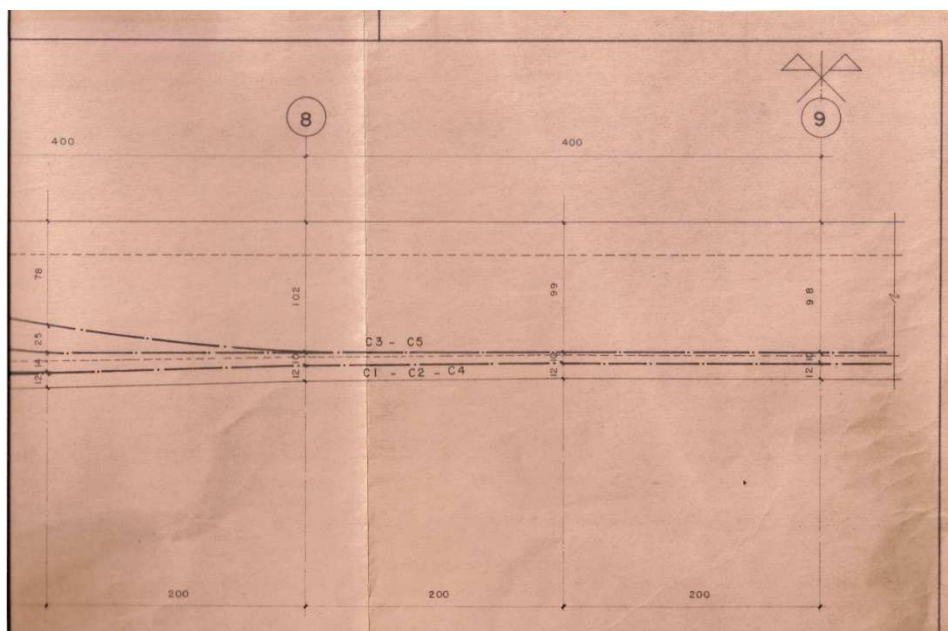


Figura 2.6 – Corte Longitudinal – Meio do Vão (cm)

Fonte: Memorial de Cálculo e Plantas de Fôrmas e Armação do Projeto Original.



### 2.3. Propriedades Geométricas de Seções Típicas

Foram extraídas da memória de cálculo do projeto original as propriedades geométricas das seções típicas, apresentadas na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Propriedades geométricas das seções típicas.

Fonte: Memorial de Cálculo do Projeto Original.

Seção	X (m)	Altura (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Y <sub>s</sub> (m)	Y <sub>i</sub> (m)	Inércia (m <sup>4</sup> )
1	0	0,250	3,250	0,125	0,125	0,017
2	2	0,250	3,250	0,125	0,125	0,017
3	4	1,503	5,556	0,521	0,982	1,648
4	6,25	1,639	5,939	0,607	1,032	2,233
5	8,5	1,801	6,332	0,732	1,069	3,002
6	10,75	1,988	6,842	0,815	1,173	4,040
7	13	2,200	8,136	0,947	1,253	5,569
8	15	2,200	8,136	0,947	1,253	5,569
9	17	2,200	8,136	0,947	1,253	5,569
10	21	1,840	6,691	0,758	1,082	3,369
11	25	1,560	6,268	0,623	0,938	2,167
12	29	1,360	5,898	0,524	0,836	1,474
13	33	1,240	5,583	0,459	0,781	1,106
14	37	1,200	5,327	0,422	0,778	0,947

Onde:

Y<sub>s</sub> – Distância do centro de gravidade ao bordo superior do viaduto;

Y<sub>i</sub> – Distância do centro de gravidade ao bordo inferior do viaduto.

### 2.4. Ações e Carregamentos

Os carregamentos aplicados estão baseados nas recomendações do item 7 da norma NBR 7187:2003.

#### a) Ações Permanentes

Foram consideradas as seguintes ações:

- Peso próprio dos elementos estruturais;

- Peso da pavimentação com adição da carga de recapeamento;
- Peso dos guarda-rodas e passeios laterais;
- Peso das transversinas de extremidade e muros de ala;
- Protensão.

#### b) Ações Variáveis

São ações de caráter transitório, apresentando, durante a vida da construção, valores com variações significativas em torno da média.

- Variações de temperatura;
- Cargas móveis.

A figura 2.7 mostra esquematicamente o modelo de análise do viaduto. Mais detalhes do modelo de análise serão discutidos nos próximos capítulos.

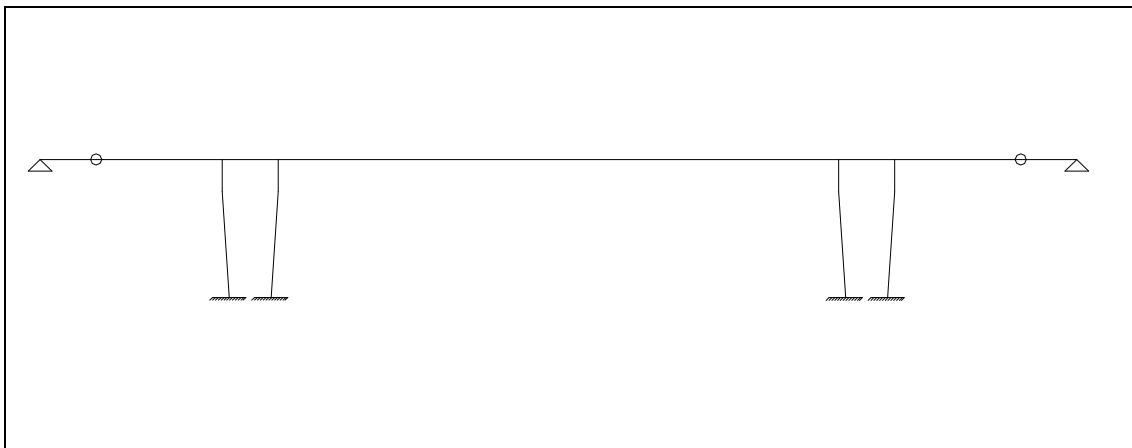


Figura 2.7 – Modelo de análise de viga contínua

Os carregamentos são aplicados ao modelo de análise considerando-se o viaduto pronto, em condições de uso. As cargas móveis e de temperatura foram atualizadas para as recomendações da norma atual. As demais apresentam o mesmo valor considerado no projeto original de 1980. Todos os valores apresentados neste capítulo correspondem a valores característicos.

### 2.4.1. Peso Próprio – G1

Este carregamento considera esforços provenientes do peso próprio, determinado automaticamente pelos programas SAP2000 e SOFISTIK. São incluídos também o peso próprio das transversinas intermediárias e extremas.

#### a) Peso próprio das transversinas intermediárias:

Carga aplicada diretamente sobre o encontro dos pilares com a superestrutura do viaduto.

$$g_k \text{ transversinas} = 124,10 \text{ kN}$$

#### b) Cargas nas transversinas de extremidade:

Cargas aplicadas na extremidade dos balanços provenientes do peso próprio das cortinas, abas laterais, dentes e prolongamento das almas.

$$g_k \text{ cortina} = 87,40 \text{ kN}$$

$$g_k \text{ abas} = 30,10 \text{ kN}$$

$$g_k \text{ dentes} = 30,00 \text{ kN}$$

$$g_k \text{ prolongamento} = 6,30 \text{ kN}$$

Totalizando assim uma carga de 153,70 kN aplicada na extremidade do balanço

### 2.4.2. Sobrecarga Permanente – G2

Este carregamento possui as mesmas cargas consideradas no projeto original, que são: cargas oriundas da pavimentação, barreiras laterais, passeio e guarda-corpo.

#### a) Pavimentação

Foi adotado para o pavimento um peso específico igual a 24 kN/m<sup>3</sup>, conforme o indicado no item 7.1.2 da NBR 7187:2003, que define este valor como sendo o mínimo a ser empregado. Sendo também aplicada a carga de recapeamento de 2 kN/m<sup>2</sup>.

$$g_k \text{ pavimentação} = B \times (e \times \gamma_{\text{asfalto}} + 2 \text{ kN/m}^2)$$

$$g_k \text{ pavimentação} = (13,0 - 2 \times 1,80) \times (0,07 \times 24,0 + 2)$$

$$g_k \text{ pavimentação} = 34,6 \text{ kN}$$



$$g_k \text{ guarda-corpo} = 1 \text{ kN/m}$$

Portanto, a carga atuante G2 será igual a:

$$G2 = g_k \text{ pavimentação} + 2 \times (g_k \text{ barreira} + g_k \text{ pas_duto_ench} + g_k \text{ guarda-corpo})$$

$$G2 = 33,12 + 2 \times (1,00 + 6,165 + 7,825)$$

$$G2 = 63,10 \text{ kN/m}$$

### 2.4.3. Protensão no Tempo Infinito

Este carregamento será considerado no dimensionamento com os valores médios dos apresentados no projeto original. No projeto original são apresentados os valores de  $P_{kinf}$  e  $P_{ksup}$  tanto para o isostático de protensão quanto para o efeito total.

$$P_{kinf} \text{ é o limite inferior da protensão} = P_{kmedio} - 1,2 \Delta P$$

$$P_{ksup} \text{ é o limite superior da protensão} = P_{kmedio} - 0,8 \Delta P$$

O cálculo dos hiperestáticos de protensão foi efetuado da seguinte forma:

Os relatórios da análise do projeto original dispõem dos esforços isostáticos de protensão para  $P_{kinf}$  e  $P_{ksup}$ , já contadas as perdas imediatas e diferidas; também fornecem os esforços totais da protensão, isto é, a soma dos esforços isostáticos e hiperestáticos de protensão, para  $P_{kinf}$  e  $P_{ksup}$ .

A parcela hiperestática foi, então, obtida pela diferença entre os valores dos esforços totais e isostáticos correspondentes ao  $P_{kmedio}$  definido no projeto.

Os esforços hiperestáticos de protensão devem ser considerados nas verificações dos ELU's.

Como o viaduto é simétrico tanto em sua geometria como na disposição dos cabos, foram expostos apenas valores para metade do mesmo na tabela 2.3. As seções 7 e 9 apresentam-se repetidas por serem os pontos onde se encontram os pilares.

Tabela 2.3: Valores obtidos para os Efeitos Totais e Esforços Isostáticos a partir do Projeto Original

Seção	X (m)	Solicitações Totais de Protensão		Isostáticos de Protensão	
		Cortante (kN)	Momento (kNm)	Cortante (kN)	Momento (kNm)
3	0	1328,0	-3527,5	1327,5	-3527,5
4	2.25	1375,5	616,5	1375,5	616,0
5	4.5	1091,0	5081,5	1091,5	5081,0
6	6.75	805,5	10922,5	805,0	10922,5
7	9	95,0	13951,0	95,0	13951,0
7	9	1509,0	13779,0	95,0	13951,0
8	11	1414,0	16697,5	0,0	14040,0
9	13	1847,0	22690,0	432,5	17204,0
9	13	432,5	23029,0	432,5	17204,0
10	17	-1048,5	18290,0	-1048,5	12464,5
11	21	-2122,0	7697,5	-2121,5	1872,5
12	25	-1503,5	-3792,0	-1503,0	-9617,0
13	29	-221,0	-7628,5	-220,5	-13453,5
14	33	0,0	-7356,0	0,0	-13180,5

A partir dos resultados apresentados acima, chega-se aos esforços hiperestáticos provenientes do carregamento de protensão como mostra a tabela 2.4. Na mesma, também é indicada a altura do cabo médio em relação ao topo do tabuleiro.

Tabela 2.4: Resumo dos Efeitos do Hiperestático de Protensão

Carregamento Hiperestático				
Seção	X (m)	Ys med (m)	Cortante (kN)	Momento (kNm)
3	0	0,800	0,0	0,0
4	2.25	0,563	0,0	0,0
5	4.5	0,380	0,0	0,0
6	6.75	0,195	0,0	0,0
7	9	0,170	0,0	0,0
7	9	0,170	1414,0	-172,0
8	11	0,170	1414,0	2657,5
9	13	0,170	1414,5	5486,0
9	13	0,170	0,0	5825,0
10	17	0,230	0,0	5825,5
11	21	0,638	0,0	5825,0
12	25	1,008	0,0	5825,0
13	29	1,095	0,0	5825,0
14	33	1,055	0,0	5824,5

#### 2.4.4. Gradiente de Temperatura

Este carregamento não foi considerado no projeto original. Contudo o gradiente de temperatura é uma solicitação de suma importância, pelo fato da superestrutura estar exposta à insolação, ocasionando a tendência a dilatação da parte superior da superestrutura em relação às regiões subjacentes.

Para o cálculo do gradiente de temperatura é necessário, primeiramente, fazer a distribuição de temperatura ao longo da altura da peça, ilustrado através da figura 2.9.

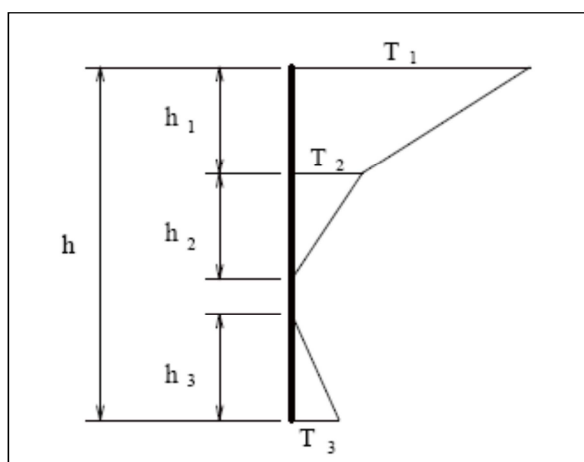


Figura 2.9 – Diagrama da distribuição de temperatura ao longo da altura da peça

$$h_1 = 0,3h \text{ (} h_1 < 0,15 \text{ m)}$$

$$h_2 = 0,3h \text{ (} 0,10 \text{ m} < h_2 < 0,25 \text{ m)}$$

$$h_3 = 0,3h \text{ (} h_3 < h - h_1 - h_2 \text{ m e } h_3 < 0,10 + h_{pav} \text{ m)}$$

As temperaturas  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$  são obtidas da tabela 2.5:

Tabela 2.5 – Valores das ordenadas do diagrama de distribuição da temperatura em função da altura total da peça.

h (m)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)
≤ 0,2	8,5	3,5	0,5
0,4	12,0	3,0	1,5
0,6	13,0	3,0	2,0
≥ 0,8	13,5	3,0	2,5

Em seguida, faz-se a linearização do gradiente de temperatura ao longo da altura da seção transversal. Os programas SAP2000 e SOFISTIK não realizam a linearização do gradiente de temperatura, de forma que se recorreu ao programa DEGEP para fazê-lo, o resultado completo expedido pelo programa encontra-se no anexo 1.

Na tabela 2.6, é apresentado o gradiente de temperatura obtido pelo programa DEGEP para cada seção.

Tabela 2.6 – Gradiente de temperatura nas seções típicas

Seção	Gradiente (°C/m)
3	-4,24
4	-3,84
5	-3,45
6	-3,07
7	-2,70
8	-2,70
9	-2,70
10	-3,39
11	-4,15
12	-4,91
13	-5,49
14	-5,67

Para o SOFISTIK, o gradiente de temperatura é tomado como constante em cada elemento e aplicado na forma, °C, e não, °C/m, como é fornecido pelo DEGEP. Assim foi necessário fazer uma simplificação: multiplicou-se o gradiente, obtido através do DEGEP, pela altura da seção correspondente e em seguida realizou-se a média das seções extremas para cada elemento.

No SAP2000, o gradiente também é tomado como constante em cada elemento, assim, foram calculadas as médias dos gradientes das seções extremas dos elementos. Na tabela 2.7, está indicado o valor do gradiente para cada elemento.



Tabela 2.7 – Gradiente de temperatura nas seções típicas

Elemento	Gradiente Médio (°C/m)	Gradiente Médio (°C)
1	-4,040	-6,333
2	-3,645	-6,254
3	-3,260	-6,158
4	-2,885	-6,022
5	-2,700	-5,940
6	-2,700	-5,940
7	-3,045	-6,089
8	-3,770	-6,356
9	-4,530	-6,576
10	-5,200	-6,743
11	-5,580	-6,806

#### 2.4.5. Carga Móvel

Este item tem como objetivo o carregamento móvel que será aplicado à estrutura, atualizando as cargas do veículo tipo e seguindo as recomendações da NBR 7188:1984.

No projeto original, o veículo tipo tinha um peso total de 360 kN, com cargas de multidão de 5 kN/m<sup>2</sup> , na faixa de 3 m do veículo tipo, e de 3 kN/m<sup>2</sup> , fora desta.

Considerou-se o viaduto na classe 45 da norma atual, que tem as seguintes características:

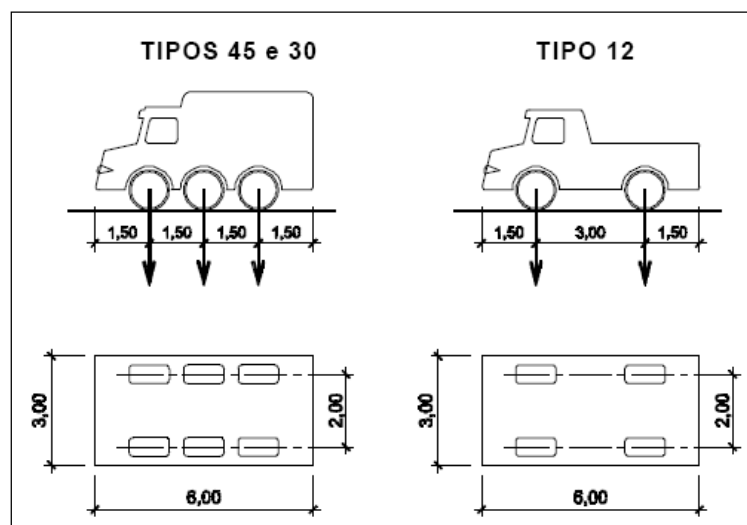


Figura 2.10 – Dimensões dos veículos tipo

$$P_{\text{veículo}} = 450 \text{ kN}$$

$$P_{\text{roda}} = 75 \text{ kN}$$

$$p = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$p' = 3 \text{ kN/m}^2$$

onde:

$P_{\text{veículo}}$  – Peso total do veículo tipo

$P_{\text{roda}}$  – Peso de cada roda do veículo

$p$  – Carga de multidão do tabuleiro

$p'$  – Carga de multidão dos passeios

A carga móvel estará disposta no tabuleiro de duas formas distintas, são elas:

– Tabuleiro totalmente

Este tipo de carregamento é o caso de carga móvel em que o tabuleiro encontra-se totalmente carregado, de forma que o caminhão tipo estará encostado na barreira lateral, a carga de multidão do tabuleiro estará distribuída ao longo de todo ele, e os passeios estarão também carregados. A figura 2.11 ilustra esta distribuição de carga.

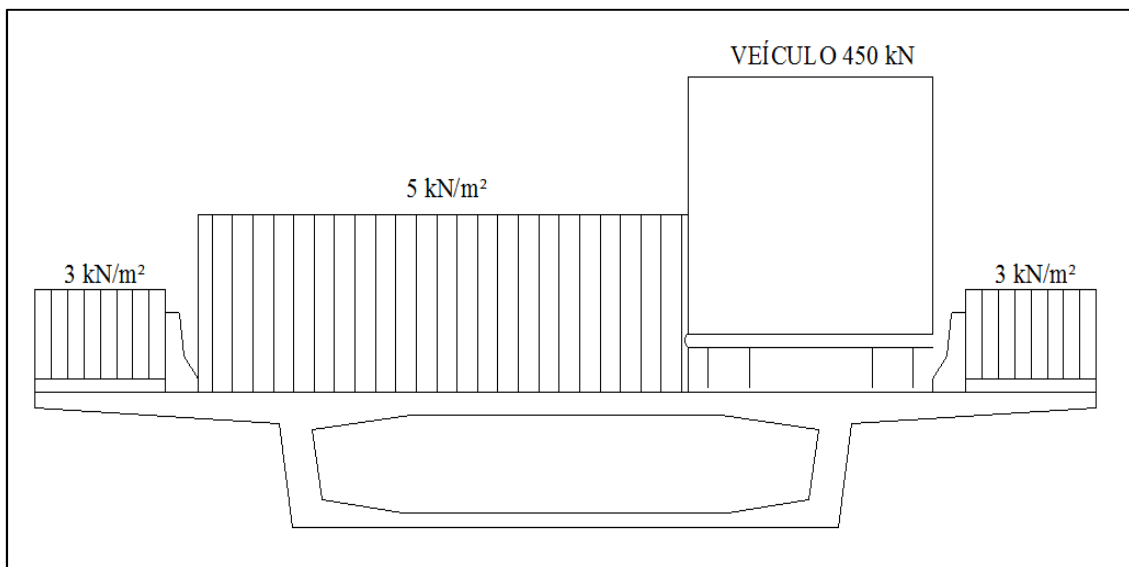


Figura 2.11 – Disposição transversal das cargas para o tabuleiro todo carregado.

– Meio Tabuleiro Carregado

Neste caso, o tabuleiro encontra-se parcialmente carregado pela carga móvel, de forma que o caminhão tipo está encostado na barreira lateral, à carga de multidão está distribuída apenas na metade do tabuleiro, e apenas um dos passeios é carregado. A figura 2.12 ilustra esta distribuição de carga.

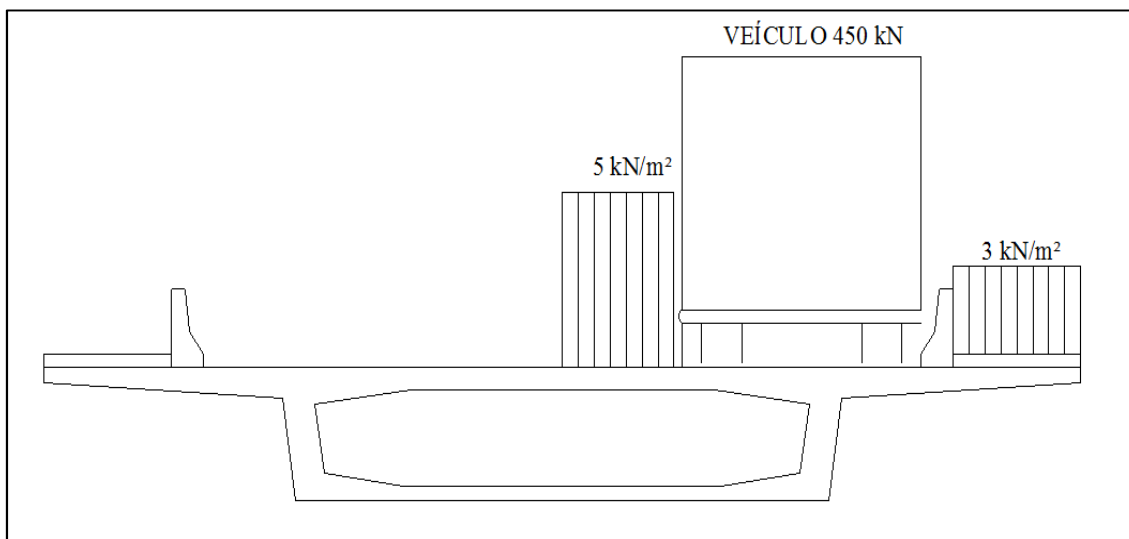


Figura 2.12 – Disposição transversal das cargas para tabuleiro parcialmente carregado

A NBR 7187:2003 item 7.2.1.2 permite fazer uma simplificação do efeito dinâmico das cargas móveis referentes ao peso do veículo e a carga de multidão das pistas de rolamento, assimilando-as a cargas estáticas através da multiplicação pelo coeficiente de impacto definido a seguir:

$$\varphi = 1,4 - 0,007L \geq 1,0$$

onde:

L é o comprimento do vão. Vale ressaltar que o impacto não incide sobre as cargas nos passeios.

Assim, têm-se os seguintes coeficientes de impacto para os vãos:

a) Vão central de 40,0 m

$$\varphi = 1,4 - 0,007 \times 40,0 = 1,12$$

Como  $\varphi \geq 1,0$  logo:

$$\varphi = 1,12$$

b) Balanços de 9,0 m

$$\varphi = 1,4 - 2 \times (0,007 \times 9,0) = 1,274$$

Como  $\varphi \geq 1,0$  logo:

$$\varphi = 1,274$$

O coeficiente de impacto foi aplicado à estrutura através de tabela Excel.

## 2.5. Combinações

Este item apresenta as combinações normais utilizadas para a verificação do ELU, seguindo as recomendações propostas pela NBR 8681:2003. As ações variáveis terão coeficiente de majoração de acordo com a sua respectiva natureza, enquanto que seu valor mínimo será zero, considerando-se uma situação onde esta ação não ocorra.

Tabela 2.7 – Coeficientes de combinação para o ELU

Coeficientes	Permanente	Hiperestático de Protensão	Gradiente de Temperatura	Carga Móvel Mínima	Carga Móvel Máxima
$\gamma_{desfavorável}$	1,35	1,20	1,20	1,50	1,50
$\gamma_{favorável}$	1,00	0,90	0,00	0,00	0,00
$\psi_0$	1,00	1,00	0,60	0,70	0,70

Na tabela 2.8, estão relacionadas às 40 combinações normais de ações consideradas. Mediante os resultados obtidos com essas combinações serão traçadas as envoltórias de esforços no ELU.

Tabela 2.8 – Combinações normais no ELU

Combinações		Permanente	Hiperestático de Protensão	Gradiente de Temperatura	Carga Móvel Mínima	Carga Móvel Máxima
Flexão	Torção					
COMB 1	COMB 21	1,35	1,20	1.2 x 0.6	1,50	0,00
COMB 2	COMB 22	1,35	1,20	1.2 x 0.6	0,00	1,50
COMB 3	COMB 23	1,35	1,20	1,20	1.5 x 0.7	0,00
COMB 4	COMB 24	1,35	1,20	1,20	0,00	1.5 x 0.7
COMB 5	COMB 25	1,35	1,20	0,00	1,50	0,00
COMB 6	COMB 26	1,35	1,20	0,00	0,00	1,50
COMB 7	COMB 27	1,35	0,90	1.2 x 0.6	1,50	0,00
COMB 8	COMB 28	1,35	0,90	1.2 x 0.6	0,00	1,50
COMB 9	COMB 29	1,35	0,90	0,00	1,50	1,50
COMB 10	COMB 30	1,35	0,90	0,00	0,00	1,50
COMB 11	COMB 31	1,35	0,90	1,20	1.5 x 0.7	0,00
COMB 12	COMB 32	1,35	0,90	1,20	0,00	1.5 x 0.7
COMB 13	COMB 33	1,00	1,20	1.2 x 0.6	1,50	0,00
COMB 14	COMB 34	1,00	1,20	1.2 x 0.6	0,00	1,50
COMB 15	COMB 35	1,00	0,90	1.2 x 0.6	1.5 x 0.7	0,00
COMB 16	COMB 36	1,00	0,90	1.2 x 0.6	0,00	1.5 x 0.7
COMB 17	COMB 37	1,00	1,20	0,00	1,50	0,00
COMB 18	COMB 38	1,00	1,20	0,00	0,00	1,50
COMB 19	COMB 39	1,00	0,90	0,00	1,50	0,00
COMB 20	COMB 40	1,00	0,90	0,00	0,00	1,50

### 3. MODELO SAP2000

Este capítulo tem por objetivo o desenvolvimento do modelo do viaduto, utilizando o programa computacional SAP2000, versão 14, apresentando os procedimentos necessários à sua criação, bem como a aplicação dos carregamentos definidos anteriormente.

O SAP2000 versão 14 é um programa computacional comercial mundialmente difundido. O programa tem um módulo especial para modelagem de pontes, chamado de *bridge wizard*, ferramenta esta utilizada neste trabalho.

#### 3.1. Material

O material utilizado foi definido da seguinte forma:

*Define > Materials > Add New Material*

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box. It contains the following fields and values:

- General Data:**
  - Material Name and Display Color: C26MPa (with a red color swatch)
  - Material Type: Concrete
  - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:**
  - Weight per Unit Volume: 25
  - Mass per Unit Volume: 2.5493
  - Units: KN, m, C
- Isotropic Property Data:**
  - Modulus of Elasticity, E: 24271333
  - Poisson's Ratio, U: 0.2
  - Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.000E-05
  - Shear Modulus, G: 10113055
- Other Properties for Concrete Materials:**
  - Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 27579.032
  - Lightweight Concrete: ☐ (unchecked)
  - Shear Strength Reduction Factor: (empty field)

At the bottom, there is a checkbox 'Switch To Advanced Property Display' (unchecked) and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 3.1 – Definição das propriedades do concreto

onde:

1 – Nome do material adotado;

- 2 – Atribuição de cor ao tipo de material;
- 3 – Atribuição do tipo de material;
- 4 – Peso específico do material;
- 5 – Sistema de unidade utilizado;
- 6 – Módulo de Elasticidade secante;
- 7 – Coeficiente de Poisson;
- 8 – Coeficiente de dilatação térmica.

## 3.2. Geometria

### 3.2.1. Superestrutura

Este item irá demonstrar a elaboração da geometria da superestrutura do viaduto, com a utilização do módulo *bridge wizard*.

#### a) Eixo da estrutura

O primeiro passo é a definição do eixo da estrutura, onde estarão referenciados os demais objetos do modelo. Trata-se de uma estrutura reta, sem curvas em planta. Portanto, o eixo é uma linha reta de 74 m de comprimento, sendo 4 m em cada extremidade referente às lajes de transição e os 66 m restantes do viaduto em si.

*Bridge > Bridge Wizard > Layout Line*

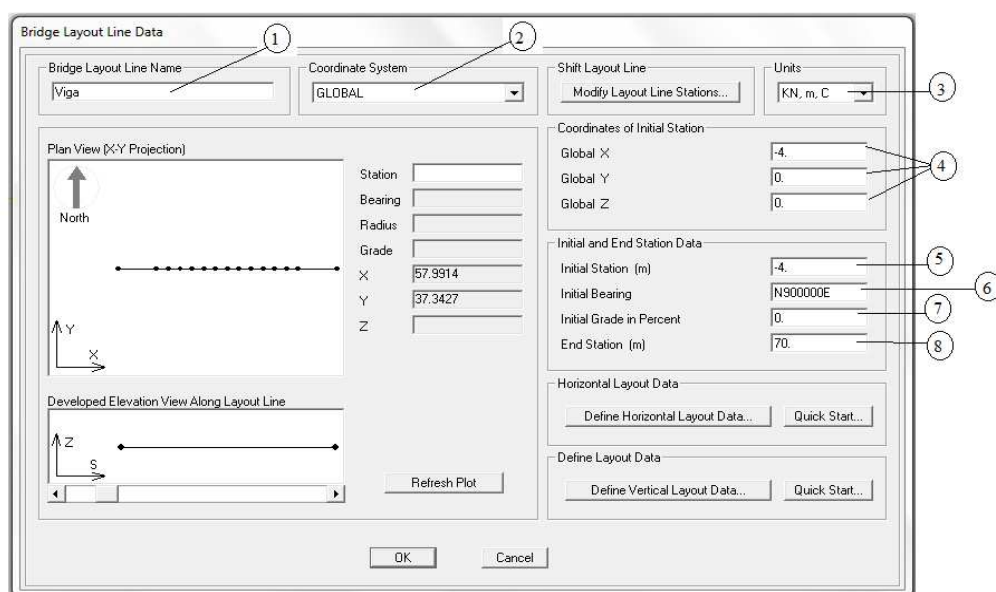


Figura 3.2 – Definição do eixo da estrutura

- 1 – Nome do eixo;
- 2 – Sistema de referência de coordenadas;
- 3 – Sistema de unidade utilizado;
- 4 – Coordenadas do ponto inicial;
- 5 – Primeiro ponto do eixo;
- 6 – Direção do eixo;
- 7 – Inclinação do eixo;
- 8 – Último ponto do eixo.

O programa oferece seções do tipo caixão pré-definidas, que podem ser editadas de acordo com a necessidade do usuário. Este recurso foi então utilizado, de modo que o programa calcula automaticamente as propriedades geométricas das mesmas.

Contudo, as seções não são constantes. Foram então criadas seções padrões, que a partir dessas introduziu-se variações paramétricas de acordo com a planta de fôrma de maneira que o programa gere todas as demais seções compreendidas entre o trecho onde se introduziu a lei de variação. Assim, foram criadas 3 seções típicas, que são:

- “Seção Balanço”: equivalente à seção S3 onde começa o viaduto, a partir da laje de transição. É a seção de início do pórtico.

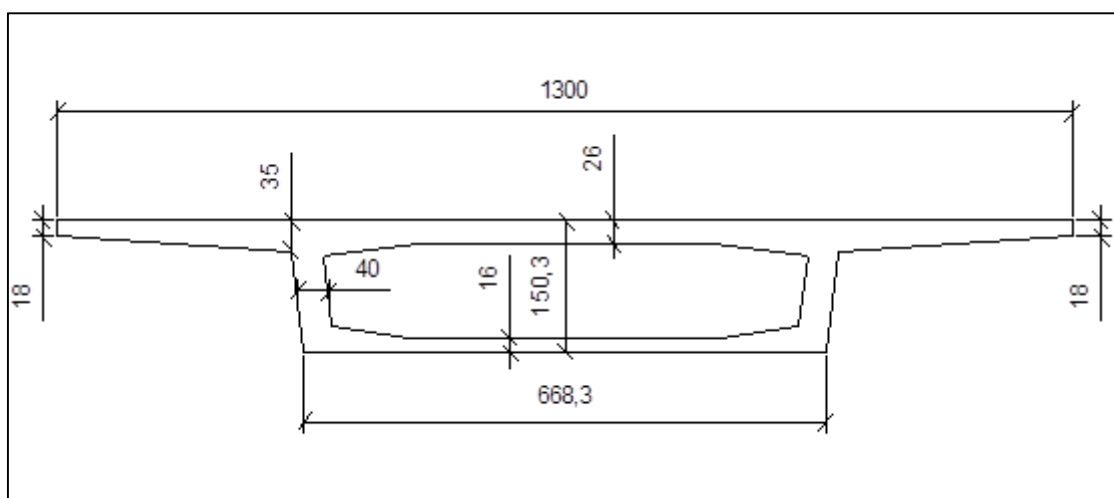


Figura 3.3 – Seção transversal da extremidade do balanço – S3 – (unidades em cm)



- “Seção Apoio”: equivalente às seções S7, S8 e S9, trata-se da seção de apoio no vão de 4,00 m entre pilares.

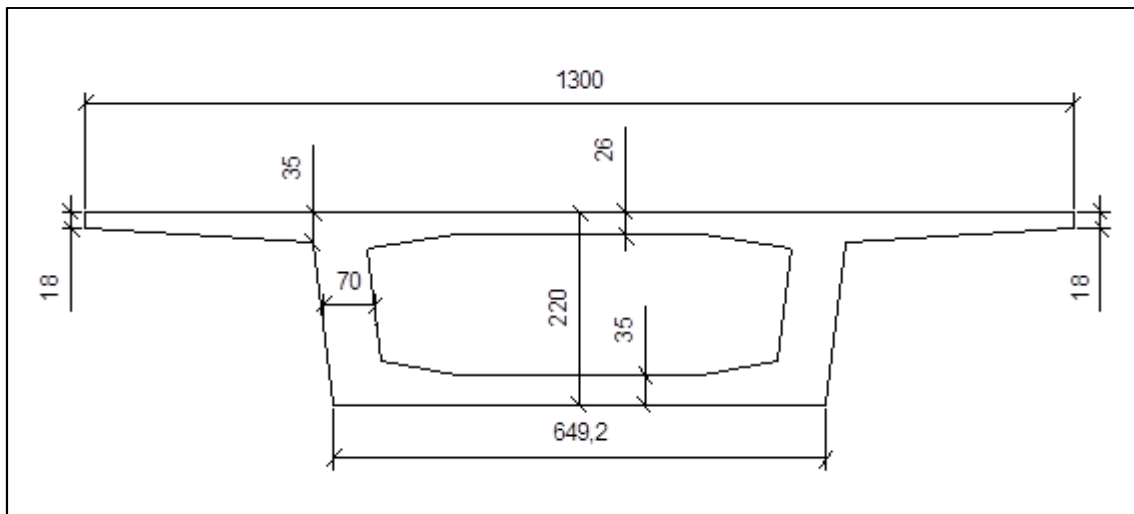


Figura 3.4 – Seção transversal trecho entre pilares – S7 a S9 – (unidades em cm)

- “Seção Meio”: equivalente à seção S14, ocorre no ponto de simetria da estrutura.

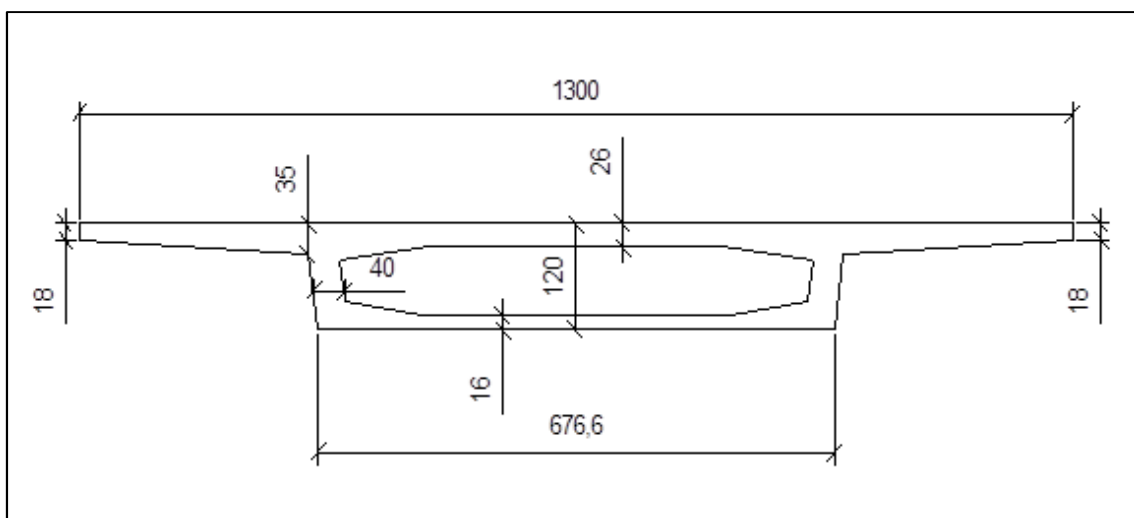


Figura 3.5 – Seção transversal do meio do vão – S14 – (unidades em cm)

Portanto, foram definidas as seções típicas da seguinte maneira:

*Bridge > Bridge Wizard > Deck Sections*

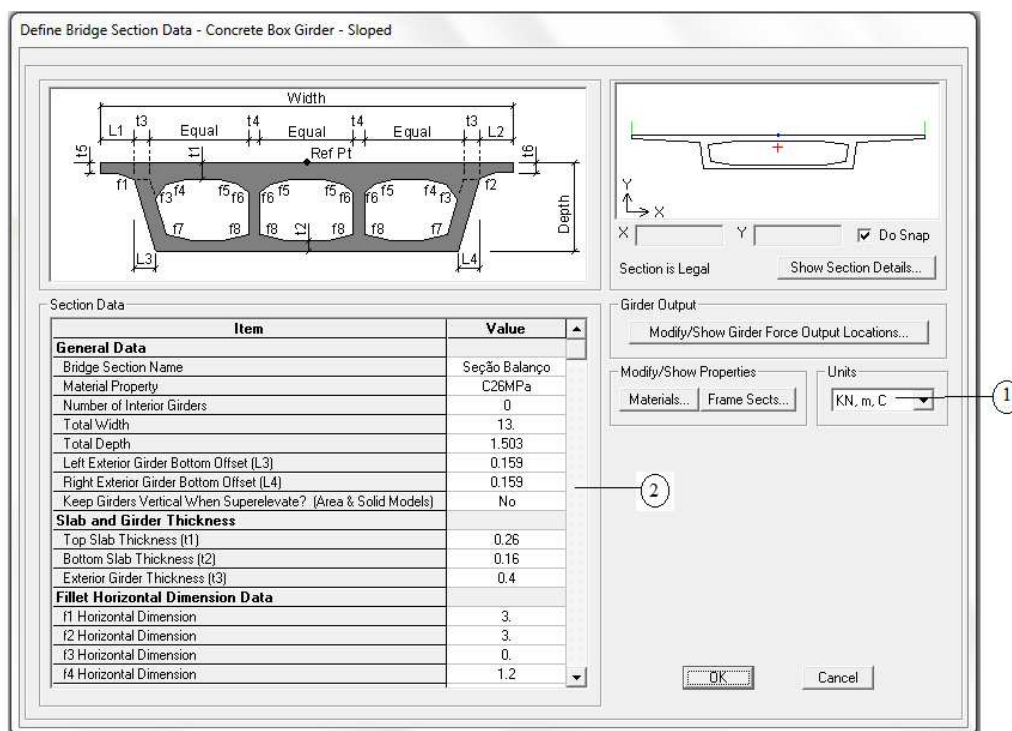


Figura 3.6 – Criação da seção balanço

onde:

- 1 – Sistema de unidade utilizado;
- 2 – Dimensões editáveis.

Também foi definida a seção da laje de transição nesta janela, possuindo 13,0 m de largura por 0,25 m de altura.

#### c) Leis de variação

Estas foram geradas para atender a diversidade de dimensões especificadas no capítulo 2, atribuindo às leis de variação do tipo parabólica as respectivas variáveis que definem as dimensões da seção transversal, isto é, uma parametrização específica para a altura da laje inferior, espessura da alma e altura da seção.

Sendo definidas da seguinte forma:

*Bridge > Bridge Wizard > Parametric Variation Definitions*

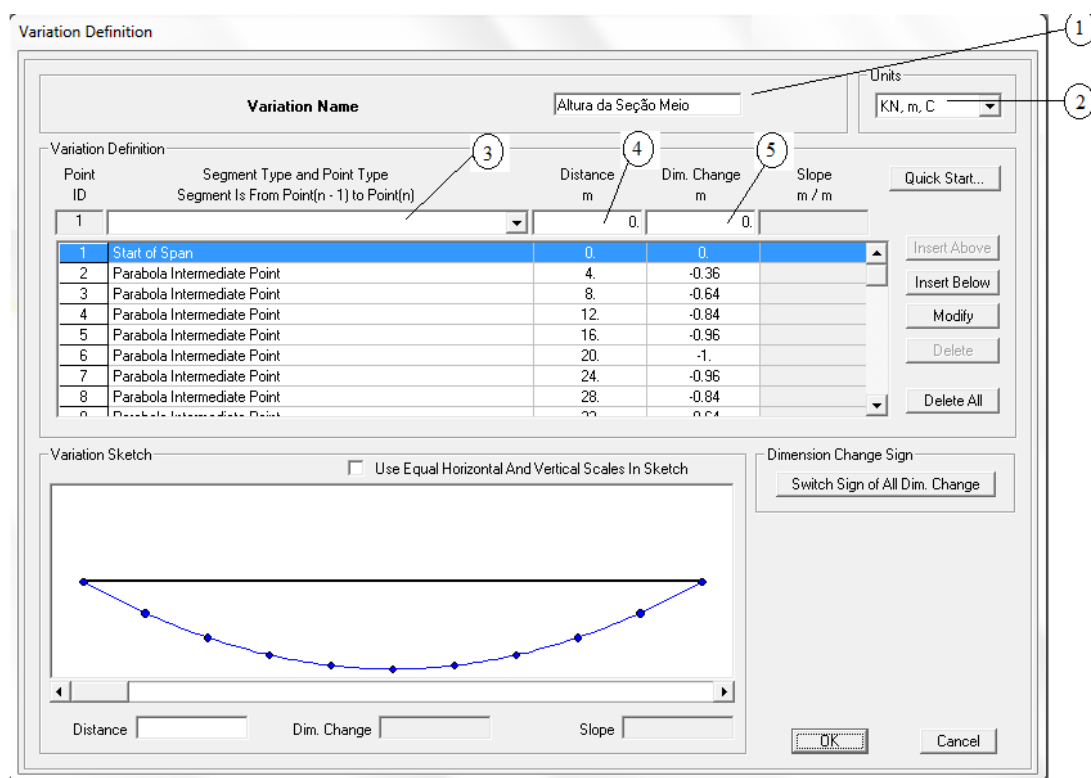


Figura 3.7 – Definição da lei de variação da altura da seção do balanço

onde:

- 1 – Nome da lei de variação;
- 2 – Sistema de unidades utilizado;
- 3 – Tipo do segmento;
- 4 – Distância;
- 5 – Valor da variação da dimensão.

d) Definição dos vãos

*Bridge > Bridge Wizard > Bridge Object Definitions*

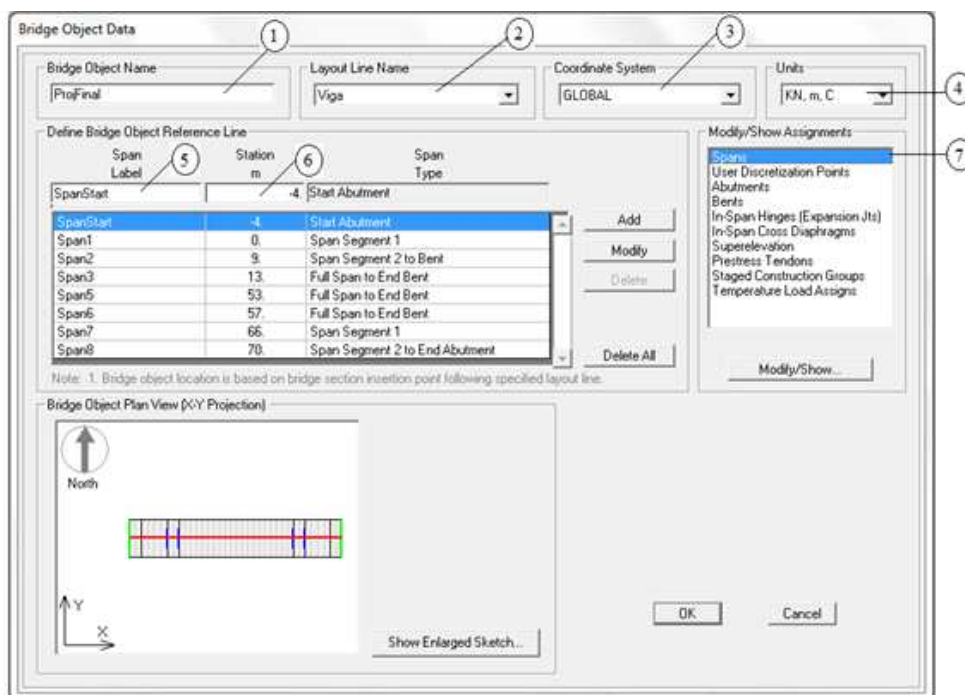


Figura 3.8 – Definição dos vãos do viaduto.

onde:

- 1 – Nome da ponte;
- 2 – Nome do eixo;
- 3 – Sistema de referência de coordenadas;
- 4 – Sistema de unidade utilizado;
- 5 – Nome do vão;
- 6 – Ordenada de início do vão;
- 7 – Vãos.

e) Atribuição da lei de variação a dimensões

Nesta etapa será designada a lei de variação, que foi definida no item c deste capítulo, as dimensões da seção típica que variam ao longo do vão.

Assim, uma seção que se encontre compreendida no trecho será gerada através de interpolação das propriedades das seções que a limitam. Dessa forma a modelagem torna-se mais realista.

*Bridge > Bridge Wizard > Bridge Object Definitions > Spans*

**Bridge Section Variation Definition**

Bridge Object Name: ProjFinal

Span Label: Span2

Base Bridge Section Property: Seção Balanço

Bridge Section Variation Is Defined By:

☒ User Definition Define/Show Variations...

☐ Reference to Another Span

Display Section

Show Base Section...

Show Section Variation...

User Defined Variation For Concrete Box Girder - Sloped

Parameter	Variation
<b>General Data</b>	
Total Width	Constant
Total Depth	Altura da Seção Balanço
Left Exterior Girder Bottom Offset (L3)	Constant Girder Slope
Right Exterior Girder Bottom Offset (L4)	Constant Girder Slope
<b>Slab and Girder Thickness</b>	
Top Slab Thickness (t1)	Constant
Bottom Slab Thickness (t2)	Espessura da Lj. Inf. Balanço
Exterior Girder Thickness (t3)	Largura Alma
<b>Fillet Horizontal Dimension Data</b>	
f1 Horizontal Dimension	Constant
f2 Horizontal Dimension	Constant
f3 Horizontal Dimension	Constant
f4 Horizontal Dimension	Constant
f5 Horizontal Dimension	Constant
f6 Horizontal Dimension	Constant

OK Cancel

Figura 3.9 – Atribuição das variações à seção transversal

### 3.2.2. Mesoestrutura

Este item apresentará a modelagem da mesoestrutura, onde também se utilizou o módulo especial para pontes, *Bridge Wizard*.

#### a) Seção dos pilares

O primeiro passo a ser tomado na modelagem dos pilares é definir a seção.

*Define > Section Properties > Frame Section*

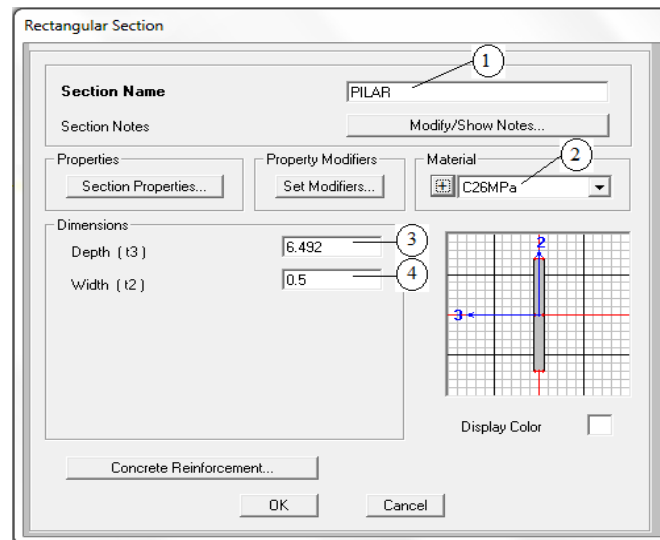


Figura 3.10 – Definição da seção do pilar

onde:

- 1 – Nome da seção;
- 2 – Material usado na seção;
- 3 – Profundidade;
- 4 – Largura.

#### b) Característica da Mesoestrutura

Na sequência, definem-se as características do pilar.

*Bridge > Bridge Wizard > Bents*

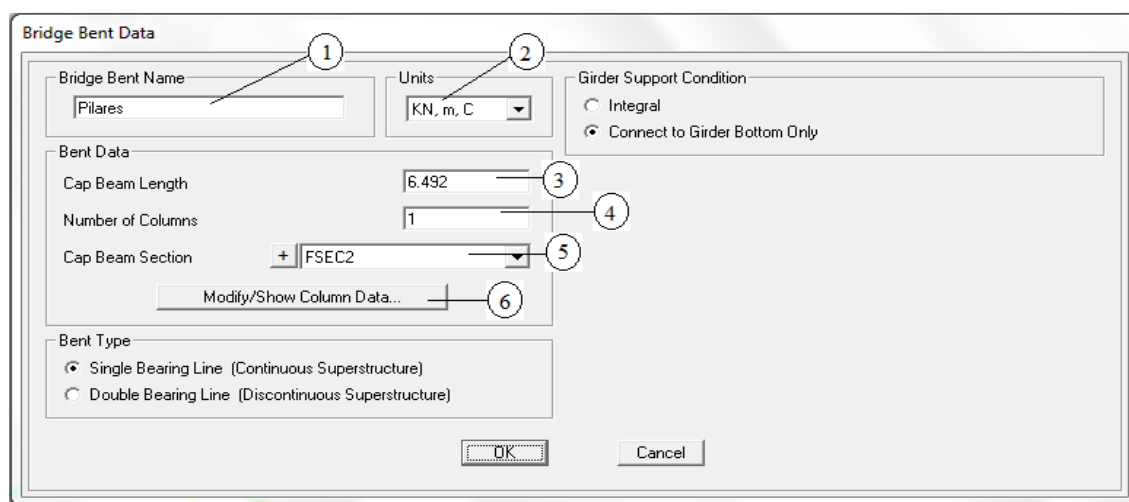


Figura 3.11 – Definição das características da mesoestrutura

onde:

- 1 – Nome do pilar;
- 2 – Sistema de unidades utilizado;
- 3 – Comprimento da travessa. Não foi utilizado este componente, porém o programa SAP2000 requer a entrada dessas propriedades. Foi utilizado a mesma seção do pilar.
- 4 – Número de pilares;
- 5 – Seção da viga transversal da mesoestrutura;
- 6 – O botão *Modify / Show Column Data* abre a janela ilustrada na figura 3.12, que permite a inserção das seguintes propriedades do pilar: seção (6A), posição do eixo da seção em relação à viga transversal da mesoestrutura (6B), altura do pilar (6C), ângulo de inclinação da seção (6D), tipo de apoio de base do pilar, que para o caso é engastado (6E), e por ultimo, a liberação dos momentos no topo do pilar que foi considerado como fixo (6F).

Column	Section	Distance	Height	Angle	Base Support
1	PILAR	3.246	7.55	0.	Fixed

**Notes:**

1. The distance is measured from the left end of the cap beam to the center of the column.
2. The column height is measured from the midheight of the cap beam to the bottom of the column.
3. The column angle is measured in degrees counterclockwise from a line parallel to the bent to the column local 2 axis.

Column	R1 Release	R2 Release	R3 Release	R1 Stiffness	R2 Stiffness	R3 Stiffness
1	Fixed	Fixed	Fixed			

Figura 3.12 – Propriedades do pilar.

A princípio, os pilares são definidos com seção constante através do *Bridge Wizard*, pelo motivo desse módulo não gerar automaticamente seções variáveis para o caso específico dos pilares. Então, após a definição de todas as propriedades que envolvam o módulo, será feito manualmente a interpolação das seções de cada pilar.

### c) Locação do pilar

*Bridge > Bridge Wizard > Bridge Object Definitions > Bents*

Bridge Object Bent Assignments

Bridge Object Name: ProfFinal Units: KN, m, C

Specify Bent Considered  
Bent Is At the End of This Span: Span2  
Bent Is At This Station: 9

Superstructure Assignment  
Superstructure Continuity Condition: Continuous  
Mesh Superstructure to Match Bent Bearing: Yes  
Diaphragm Property: + BDIA1

Bearing Assignment  
Bearing Property: + BBRG2  
Restrainer Property at Bearing: + None  
Elevation (At Layout Line, Global Z): -2.2  
Rotation Angle from Bridge Default: 0

Girder-By-Girder Bearing Overwrites  
Modify/Show Overwrites... No Overwrites Exist

Bent Assignment  
Bent Property: + Pilares  
Bent Direction (Bearing Angle): Default

Bent Location  
Elevation (Global Z): 0  
Horizontal Offset: 0  
Note: Horizontal offset is from bridge layout line to midlength of cap beam.

OK Cancel

Figura 3.13 – Locação e Atribuição das propriedades dos pilares.

onde:

- 1 – Vão em que o pilar está inserido;
- 2 – Diafragma, para o caso foi definido diafragma de concreto com espessura de 0,25m;
- 3 – Propriedades do pilar, definido no passo anterior;
- 4 – Tipo de ligação com a superestrutura, definido como fixo.

### 3.2.3. Discretização e Vistas do Modelo

O modelo foi gerado através de elementos finitos de barra, com discretização onde o usuário indica o comprimento máximo do elemento, fornecendo para o projeto um número de 36 barras e 37 nós, divididos da seguinte forma:

- No vão interno há um nó a cada 2,0 m;
- Nos balanços há um nó a cada 2,25 m;
- Há um nó sobre cada apoio;



- Um nó no meio dos vãos de 4,0 m entre pilares;
- Um nó em cada extremidade do viaduto;
- Na laje de transição, há um nó na extremidade e outro no meio.

A seguir, nas figuras 3.14 e 3.15, serão apresentadas a elevação e a vista isométrica do modelo.

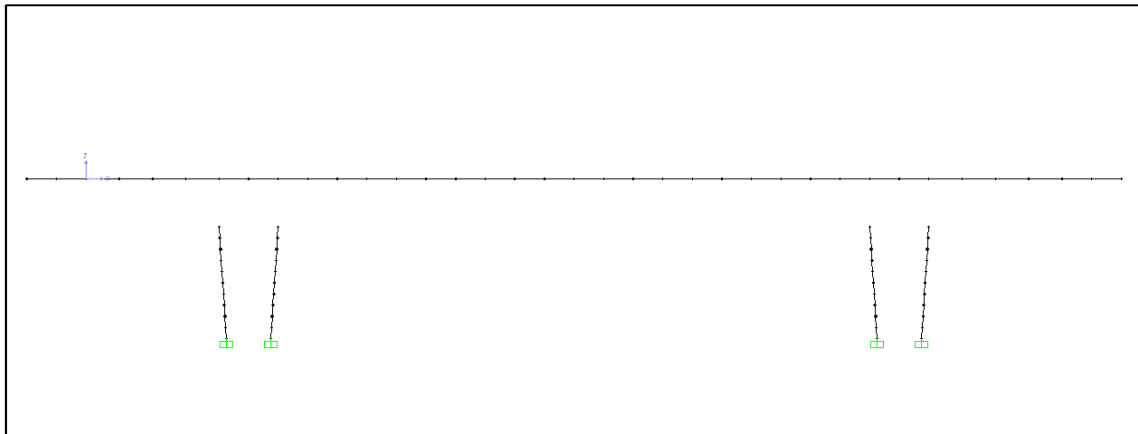


Figura 3.14 – Modelo Computacional – Elevação

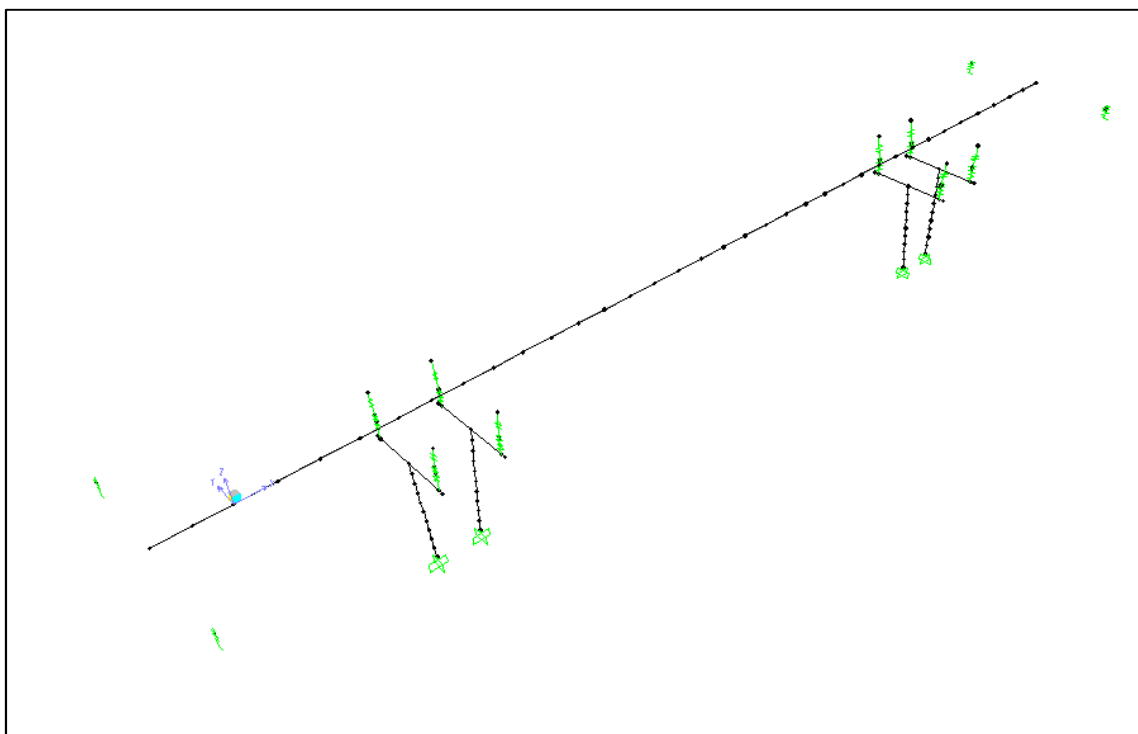


Figura 3.15 – Modelo computacional – Vista Isométrica

A figura 3.16 mostra a visualização em 3D do modelo.

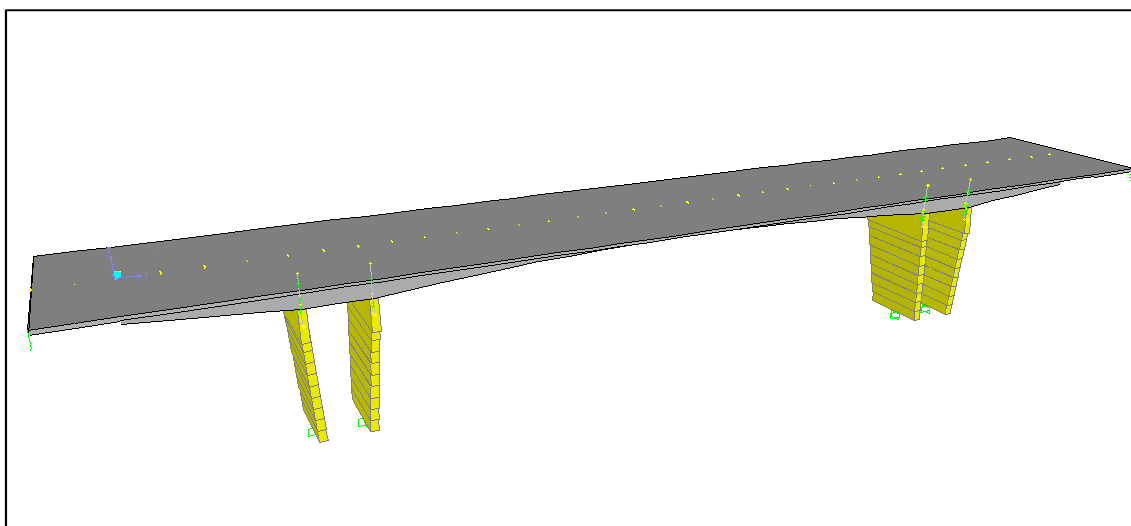


Figura 3.16 – Modelo Computacional – Visualização 3D

### 3.3. Carregamentos

Todos os carregamentos descritos no item 2.3 foram aplicados ao modelo, exceto os de protensão que foram, conforme dito anteriormente, obtidos diretamente do projeto original.

#### 3.3.1. Carregamentos de peso próprio

Os carregamentos de peso próprio foram calculados automaticamente pelo programa, através da multiplicação da área pelo peso específico do concreto. Como a maioria dos elementos tem seção variável, a carga de peso próprio é calculada por meio de interpolação no interior do elemento de modo que a carga distribuída equivalente não é uniforme.

#### 3.3.2. Carregamentos distribuídos

Trata-se do caso G2 que é a carga dos elementos acessórios, ou seja, pavimentação, recapeamento, barreira lateral, passeio e guarda corpo.

### 3.3.3. Gradiente de temperatura

A atribuição desse carregamento dá-se pela inserção do gradiente médio de temperatura dividido pela altura, em °C/m. Os valores foram atribuídos conforme descrito no item 2.3.4.

### 3.3.4. Carga móvel

Segundo a norma, a carga de multidão não deve ocupar a área do veículo. Assim, para simplificação da modelagem computacional, foi feito a seguinte modificação: a carga de multidão foi considerada na região do veículo, porém o seu peso foi recalculado, descontando-se o efeito dessa redistribuição. Portanto:

$$\text{Área do veículo} = 6 \times 3 = 18 \text{ m}^2$$

$$P'_{\text{veículo}} = 450 - 5 \times 18 = 360 \text{ kN}$$

$$P'_{\text{roda}} = 360/6 = 60 \text{ kN}$$

Assim, os trens tipos serão os seguintes:

– Tabuleiro totalmente carregado

Cargas concentradas – O veículo tem três eixos, cada um com duas rodas, logo:

$$P_{\text{eixo}} = 2 \times P'_{\text{roda}}$$

$$P_{\text{eixo}} = 120 \text{ kN}$$

Carga distribuída de multidão no tabuleiro

$$q = p \times B$$

$$q = 5 \times (13 - 2 \times 1,80)$$

$$q = 47,0 \text{ kN/m}$$

Carga distribuída de multidão na área do passeio – Como os dois lados do passeio estarão carregados, a carga distribuída longitudinalmente ao viaduto será:

$$q = p \times b$$

$$q = 3 \times (2 \times 1,80)$$

$$q = 10,8 \text{ kN/m}$$

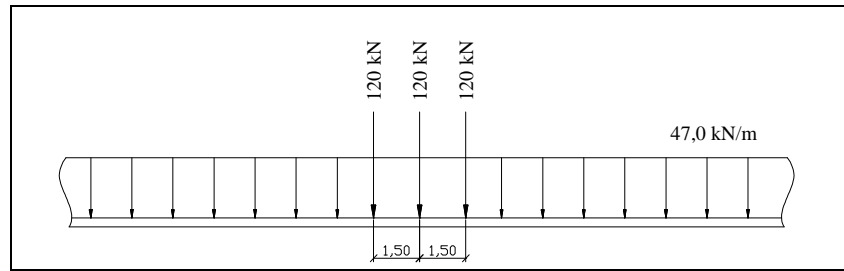


Figura 3.17 – Trem tipo para o caso do tabuleiro todo carregado– sem o passeio

– Tabuleiro parcialmente carregado

Cargas concentradas – O veículo tem três eixos, cada um com duas rodas, logo:

$$P_{\text{eixo}} = 2 \times P'_{\text{roda}}$$

$$P_{\text{eixo}} = 120 \text{ kN}$$

Carga distribuída de multidão no tabuleiro

$$q = p \times b$$

$$q = 5 \times (13/2 - 1,80)$$

$$q = 23,5 \text{ kN/m}$$

Carga distribuída de multidão na área do passeio – Como apenas um dos lados do passeio estará carregado, a carga distribuída longitudinalmente no viaduto será:

$$q = p \times b$$

$$q = 3 \times 1,80$$

$$q = 5,4 \text{ kN/m}$$

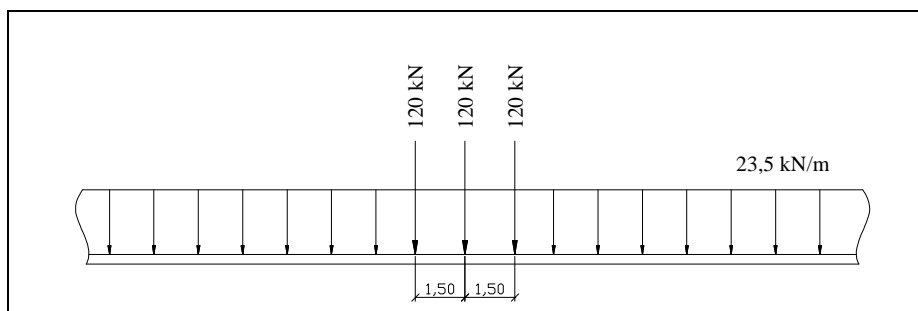


Figura 3.18 – Trem tipo para o caso de tabuleiro parcialmente carregado– sem o passeio

#### a) Aplicação da carga ao modelo

Assim, as cargas móveis foram definidas do seguinte modo: criou-se cinco tipos de cargas móveis, a primeira com o veículo-tipo com três cargas concentradas de 120 kN; a segunda uma carga distribuída longitudinal de 47,0 kN/m referente a multidão em todo o tabuleiro; a terceira, também carga de multidão de 23,5 kN/m considerando meio tabuleiro carregado; a quarta, para o caso buscando o maior esforço de flexão, com os dois lados do passeio totalmente carregados com uma carga total de 10,8 kN/m; e a quinta para meio tabuleiro carregado uma carga de passeio com valor de 5,4 kN/m.

Estas cargas foram aplicadas a estrutura conforme ilustrado nas figuras 3.19 e 3.20, a primeira é referente ao veículo-tipo e a segunda as cargas de multidão. A designação do valor da carga pontual dá-se no ícone *Axle Width type*, e através do ícone *Uniform Width* é atribuído o valor da carga distribuída.

*Bridge > Bridge Wizard > Vehicles*

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0.	Lane Width		120.0001	One Point	
Leading Load	Infinite		0.	Lane Width		120.0001	One Point	
Fixed Length	1.5		0.	Lane Width		120.0001	One Point	
Fixed Length	1.5		0.	Lane Width		120.0001	One Point	
Trailing Load	Infinite		0.	Lane Width		120.0001	One Point	

Figura 3.19 – Definição da carga do veículo-tipo

onde:

1– Nome do carregamento;

- 2 – Sistema de unidades adotado;
- 3 – Distância entre as cargas;
- 4 – Valor das cargas pontuais;
- 5 – Formato de aplicação da carga no eixo.

**General Vehicle Data**

Vehicle name: Mult. Pte. Int. Units: KN, m, C

**Floating Axle Loads**

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0.	One Point	
For Other Responses	0.	One Point	

☐ Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

**Usage**

☒ Lane Negative Moments at Supports  
☒ Interior Vertical Support Forces  
☒ All other Responses

**Min Dist Allowed From Axle Load**

Lane Exterior Edge: 0.3048  
Lane Interior Edge: 0.6096

**Length Effects**

Axle: None  
Uniform: None

**Loads**

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		47.	Zero Width		0.	One Point	
Leading Load	Infinite		47.	Zero Width		0.	One Point	

Add Insert Modify Delete

☐ Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor  
☐ Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

OK Cancel

Figura 3.20 – Definição das cargas móveis distribuídas

onde:

1– Valor da carga distribuída

b) Excentricidade

O veículo tipo, nos dois casos de carregamento atua encostado na barreira lateral, gerando excentricidade em relação ao eixo longitudinal. Também há excentricidades para as cargas de multidão no tabuleiro e no passeio, no caso em que o tabuleiro encontra-se parcialmente carregado. Essas excentricidades são iguais a:

- Excentricidade da faixa do veículo tipo

$$e = (b/2 - p) - l/2$$

$$e = (13/2 - 1,8) - 3/2$$

$$e = 3,20 \text{ m}$$

onde:

e – excentricidade

b – largura do tabuleiro descontadas as barreiras laterais e o passeio

l – largura do veículo tipo

p – largura do passeio

- Excentricidade da faixa da carga de multidão atuando em meio tabuleiro:

$$e = (b/2 - p)/2$$

$$e = (13/2 - 1,8)/2$$

$$e = 2,35 \text{ m}$$

- Excentricidade da faixa da carga de passeio atuando em meio tabuleiro:

$$e = (b/2) - (p/2)$$

$$e = (13/2) - (1,8/2)$$

$$e = 5,60 \text{ m}$$

- Excentricidade da faixa da carga de multidão e da carga de passeio atuando em todo tabuleiro:

$$e = 0,00 \text{ m}$$

Aplicou-se esse efeito ao modelo através da criação de eixos de aplicação de carga para cada uma, onde a distância em relação ao eixo central do viaduto é igual a excentricidade calculada. A figura 3.21 mostra a janela de definição deste eixo.

*Bridge > Bridge Wizard > Lanes*

**Bridge Lane Data**

**Lane Name** Caminhão **Coordinate System** GLOBAL **Units** KN, m, C

**Maximum Lane Load Discretization Lengths**  
 Along Lane 3.048  
 Across Lane 3.048

**Additional Lane Load Discretization Parameters Along Lane**  
☒ Discretization Length Not Greater Than 1/ 4. of Span Length  
☒ Discretization Length Not Greater Than 1/ 10. of Lane Length

**Lane Data**

Bridge Layout Line	Station m	Centerline Offset m	Lane Width m
Viga	-4.	3.2	0.
Viga	-4.	3.2	0.
Viga	70.	3.2	0.

Move Lane...  
 Add  
 Insert  
 Modify  
 Delete

**Plan View (X-Y Projection)**

North

Layout Line  
 Station  
 Bearing  
 Radius  
 Grade  
 X  
 Y  
 Z

☒ Snap To Layout Line  
☐ Snap To Lane

**Objects Loaded By Lane**  
☒ Program Determined  
☐ Group

**Lane Edge Type**  
 Left Edge Interior  
 Right Edge Interior

Display Color

OK Cancel

Figura 3.21 – Definição das faixas.

onde:

- 1 – Posição de início e fim da faixa;
- 2 – Excentricidade.



## 4. MODELO SOFISTIK

Este capítulo tem por objetivo o desenvolvimento do modelo do viaduto, utilizando o programa computacional SOFISTIK, versão 2012, apresentando os procedimentos necessários à sua criação, bem como a aplicação dos carregamentos definidos no capítulo 2.

Assim como o SAP2000, o SOFISTIK tem um módulo especial para pontes, chamado de *Beam and Slab Bridge*. Contudo, este módulo apenas retrata pontes relativamente simples, que mantenham constantes as seções da mesoestrutura ou que varie apenas a altura, sem a variação de outras dimensões.

Por outro lado, o SOFISTIK apresenta um módulo em que o usuário pode modelar a estrutura desejada, não só pontes mais como qualquer outro tipo de estrutura. Este módulo é o *GUI for Model Creation SOFIPLUS-(X)*, e será usado neste trabalho.

### 4.1. Informações Gerais

O primeiro passo na criação do modelo é a definição das informações gerais do sistema, neste passo o programa oferece a opção em que o usuário escolhe a norma que gostaria de seguir, tendo em seu sistema a NBR 6118-2003. A figura 4.1 mostra a definição das informações para o projeto.

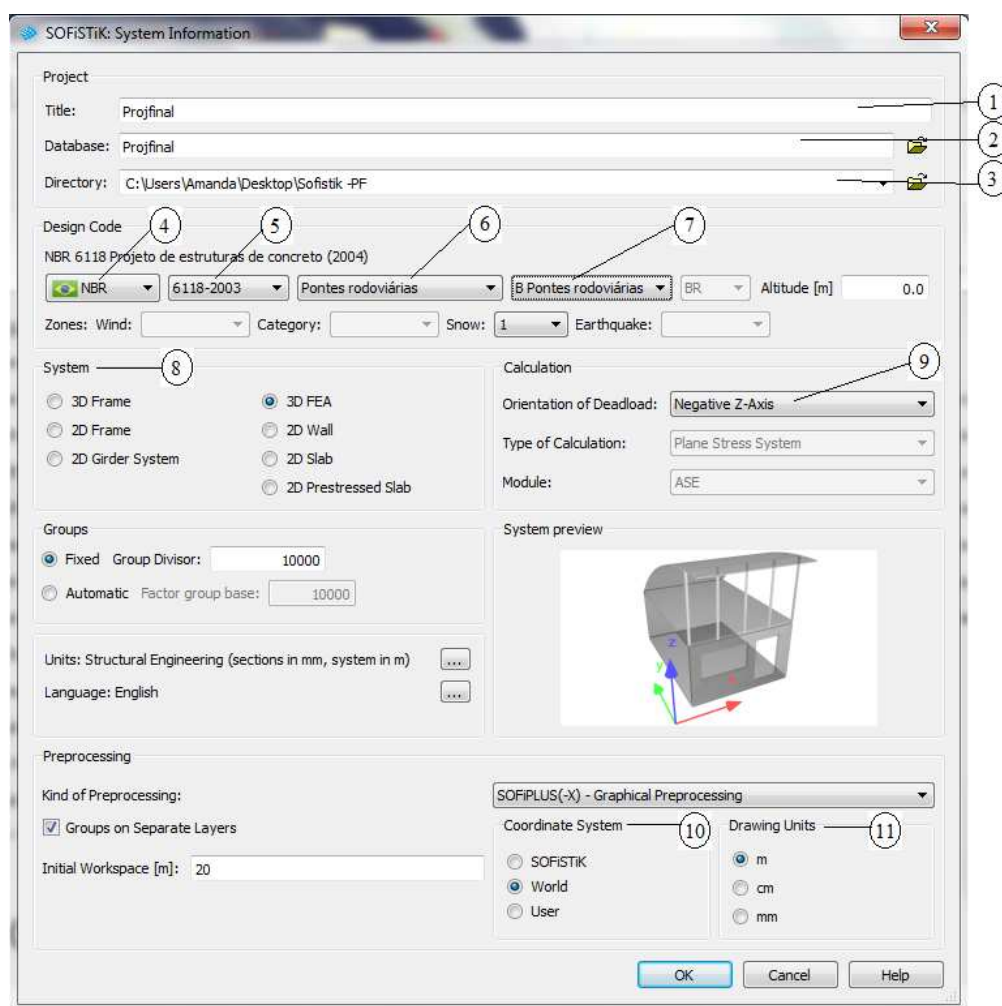


Figura 4.1 – Definição das informações gerais do sistema

onde:

- 1 – Nome do arquivo;
- 2 – Banco de dados;
- 3 – Local que o arquivo será salvo;
- 4 – Norma utilizada;
- 5 – Número da norma;
- 6 – Tipo de estrutura a ser analisada;
- 7 – Classe da estrutura;
- 8 – Sistema de modelagem;
- 9 – Orientação da direção positiva para peso próprio;
- 10 – Sistema de Coordenadas;
- 11 – Unidade de comprimento.

Feito isso, a janela do SOFISTIK *Structural Desktop (SSD)* se abre. Esta tela é a principal do programa, a partir dela são definidas todas as propriedades da estrutura e realizadas todas as análises.

A primeira tarefa a ser realizada é a definição do material, mostrada na figura 4.2.

*Materials > New > Properties*

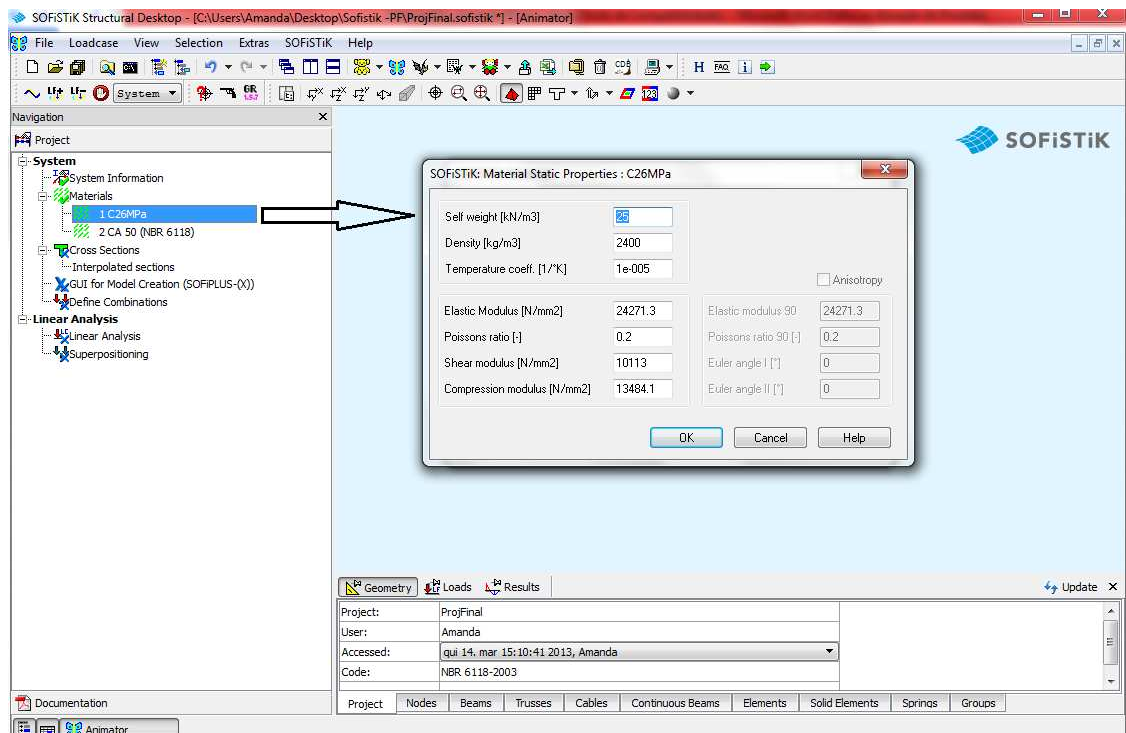


Figura 4.2 – Definição do material

## 4.2. Geometria

A geometria do modelo é definida através do módulo *GUI for Model Creation SOFIPLUS-(X)*, que quando clicado é aberta a janela em ambiente AUTOCAD. Para isso, é necessário que se tenha o programa AUTOCAD instalado no computador em versões posteriores a 2010.

### a) Eixo

Traça-se uma linha para definição do eixo, com ponto inicial (0;0;0) e final (74;0;0).

*System > Bridge Axis > Create Axis From 3D AutoCAD > selecione a linha*

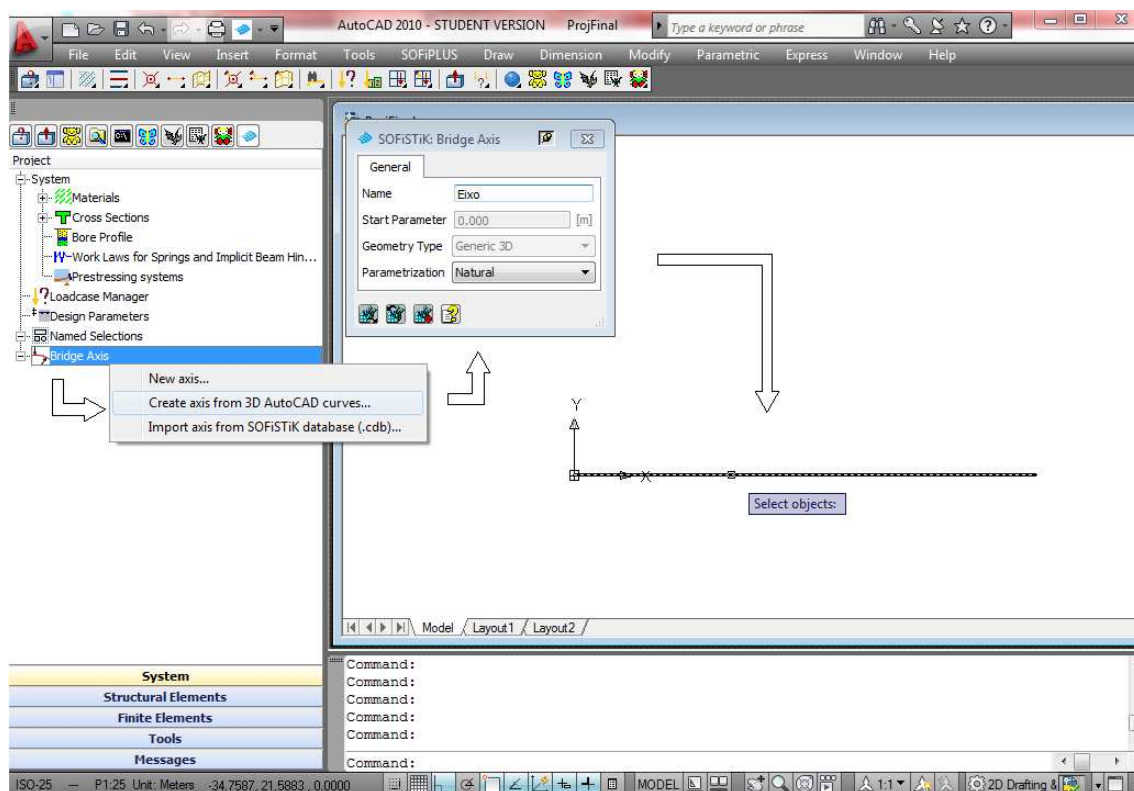


Figura 4.3 – Definição do eixo do viaduto

#### b) Locação das Seções típicas

Para o projeto, o viaduto foi dividido de acordo com as posições das seções típicas, iguais às mostradas no capítulo 2, criando o que o programa chama de *Placements* para cada posição de seção.

Na criação dos *Placements* é necessário classificar a seção de acordo com sua posição no viaduto, indicando se estiver no início ou fim da ponte, ou se o pilar está sob ela, sendo os demais classificados como ponto de construção. A figura 4.4, apresenta a definição dos *Placements*.

*System > Bridge Axis > Placements*

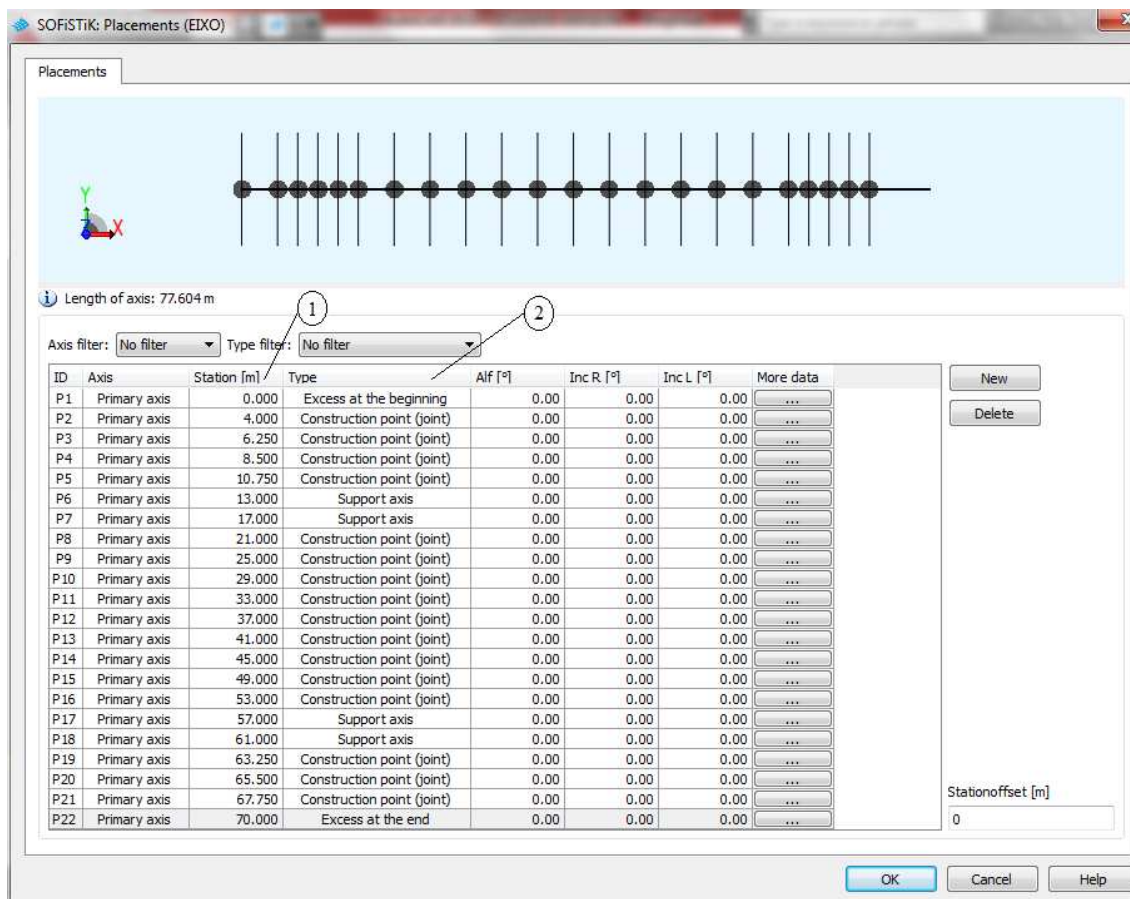


Figura 4.4 – Definição dos *Placements*.

onde:

1 – Distância relativa ao início do eixo;

2 – Tipo de seção.

#### c) Seções

Foram definidas todas as 14 seções típicas do viaduto, sendo 2 para as lajes de transição e as outras 12, compondo a superestrutura.

O primeiro passo é nomear a seção aplicando o material.

System > Cross Section > New Thick Walled Section > Reinforced Concrete

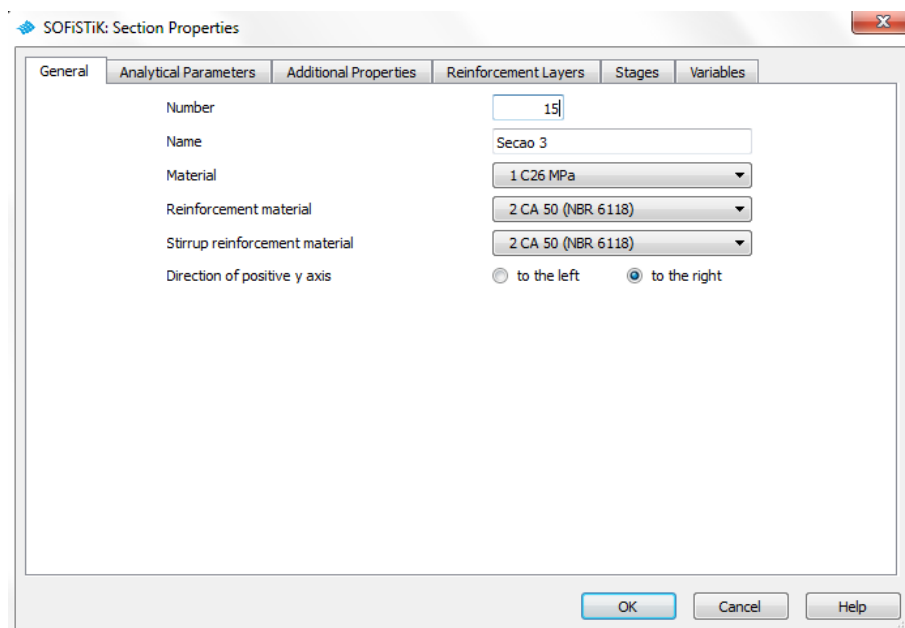


Figura 4.5 – Determinação do material da seção

Feito isso, o editor de seção se abrirá sendo possível desenhar a seção transversal utilizando comandos do AUTOCAD, as dimensões devem ser em milímetros. Com a seção desenhada, aplicam-se as bordas externas e internas da seção, através dos ícones *Boundary* e *Opening* respectivamente. Em seguida, pede-se para o programa calcular as propriedades geométricas da seção e fecha-se a janela de edição. Assim, a seção transversal está definida e pronta para ser aplicada ao eixo.

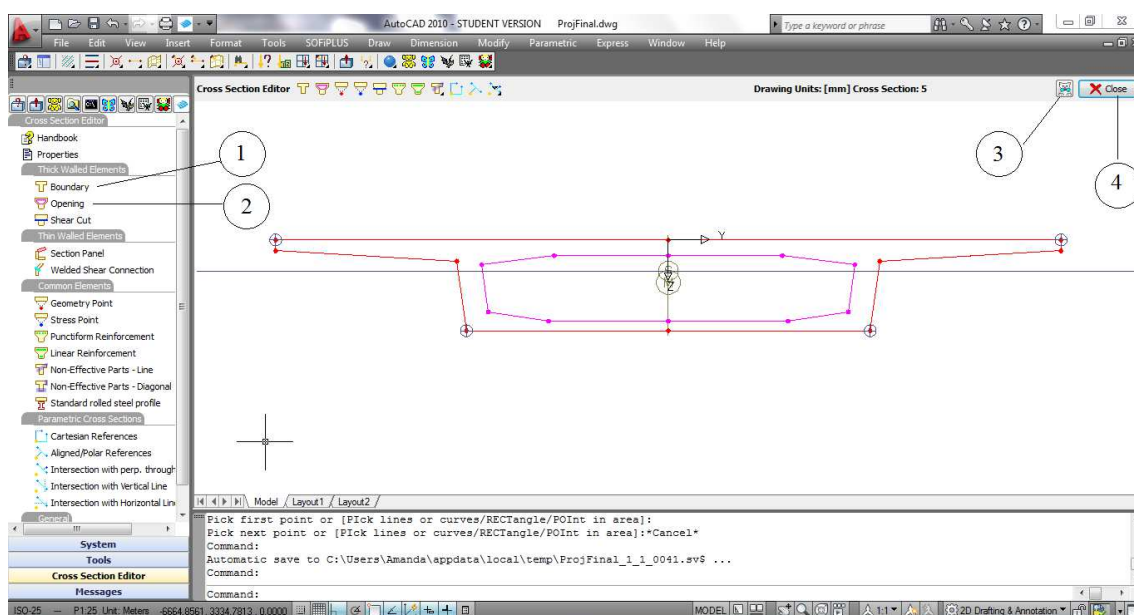


Figura 4.6 – Definição da geometria

onde:

- 1 – *Boundary* – ícone para definição do bordo exterior da seção;
- 2 – *Opening* – ícone para definição do bordo interior da seção;
- 3 – Calcula as propriedades da seção;
- 4 – Fecha o editor de seção.

Agora, as seções devem ser associadas ao eixo, indicando a seção de início e fim de cada elemento, este está definido entre dois *Placements*, seções intermediárias serão obtidas através de interpolação linear.

### *Structural Elements > Line > Beam/Cable*

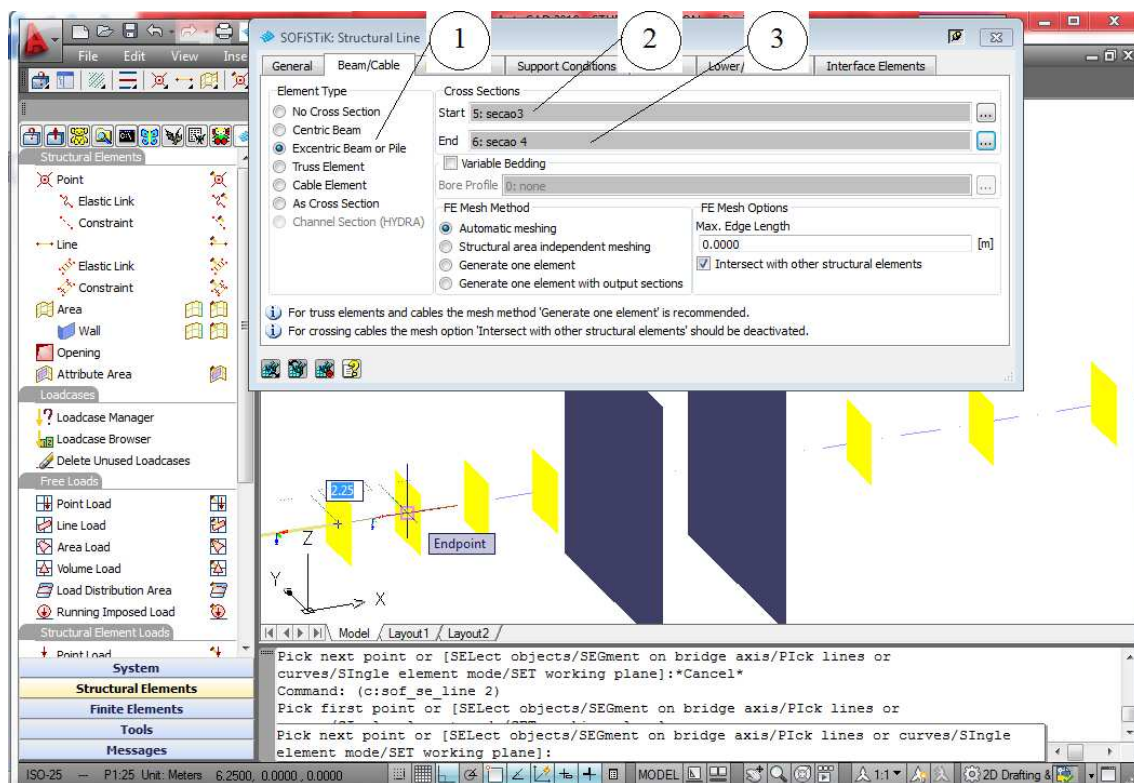


Figura 4.7 – Atribuição da seção ao eixo

onde:

- 1 – Tipo de elemento;
- 2 – Seção de início do elemento;
- 3 – seção de fim do elemento.



#### d) Pilares

Com a superestrutura definida, a etapa posterior é a definição dos pilares. Com um duplo clique no desenho do *Placement* de suporte, entra-se na janela de edição para membros, onde se fará a definição do pilar.

O primeiro passo é definir a ligação da superestrutura com a mesoestrutura que será feito através do *Constraint*, que é uma ligação de dependência de deslocamentos, idealizando-se assim uma ligação rígida, ou seja, com a vinculação de todos os deslocamentos.

O passo seguinte é a determinação da seção do pilar, que deve ser feita da mesma maneira que foram realizadas as seções da superestrutura. Como o pilar tem seção variável, foram definidas duas seções, a de topo e a de base, as seções intermediárias são definidas por interpolação linear.

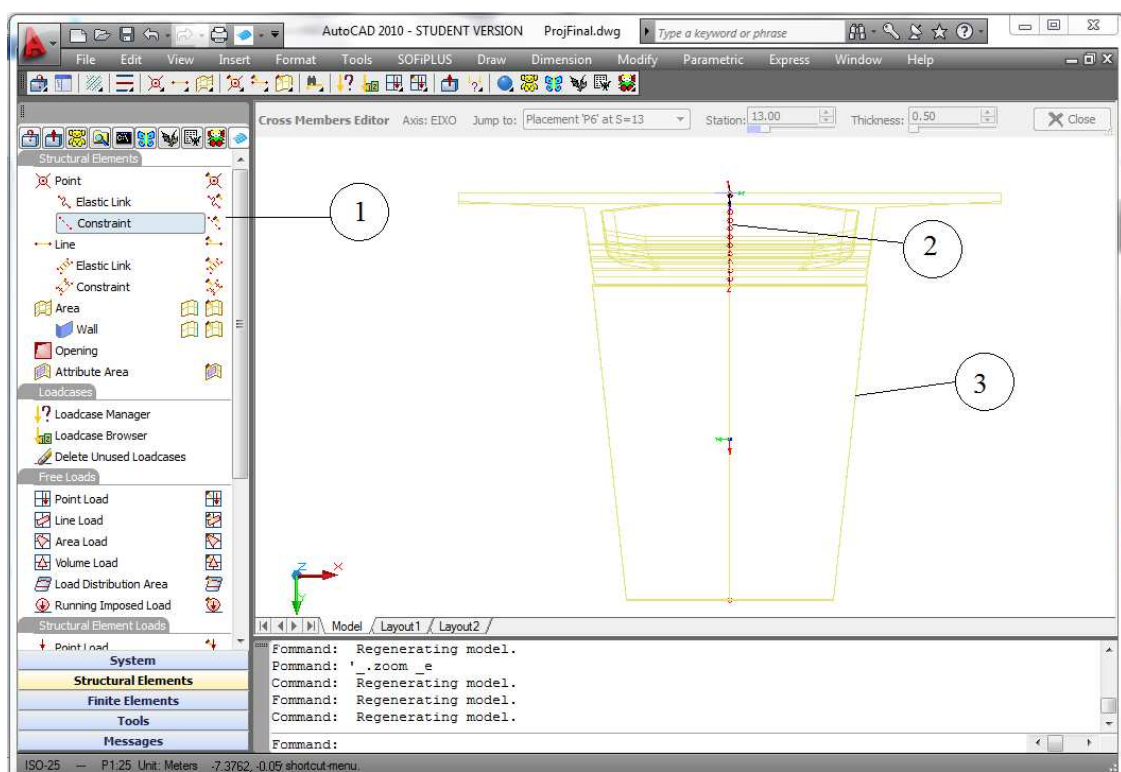


Figura 4.8 – Definição dos pilares

onde:

- 1 – Ícone de definição do *Constraint*;
- 2 – *Constraint* aplicado à estrutura;
- 3 – Pilar.



Feito isso, define-se os apoios da estrutura, engaste para a base dos pilares, rótula no encontro do viaduto com a laje de transição, e para as extremidades da laje de transição coloca-se uma mola com grande rigidez no sentido vertical e a torção. Assim definindo toda a geometria da estrutura.

#### 4.2.1. Discretização e Vistas do Modelo

O modelo foi gerado através de elementos finitos de barra. A discretização é gerada de maneira automática pelo programa, sem a intervenção do usuário, fornecendo para o projeto um número de 80 barras e 81 nós, distribuídos da seguinte forma:

- No vão interno há um nó a cada 1,0 m;
- Nos balanços há um nó a cada 0,75 m;
- Há um nó sobre cada apoio;
- Nos vãos entre os pilares há um nó a cada 1,0 m;
- Um nó em cada extremidade do viaduto;
- Na laje de transição, há um nó na extremidade e a cada 1,0 m.

A seguir, na figura 4.9, é apresentada a visualização 3D do modelo.

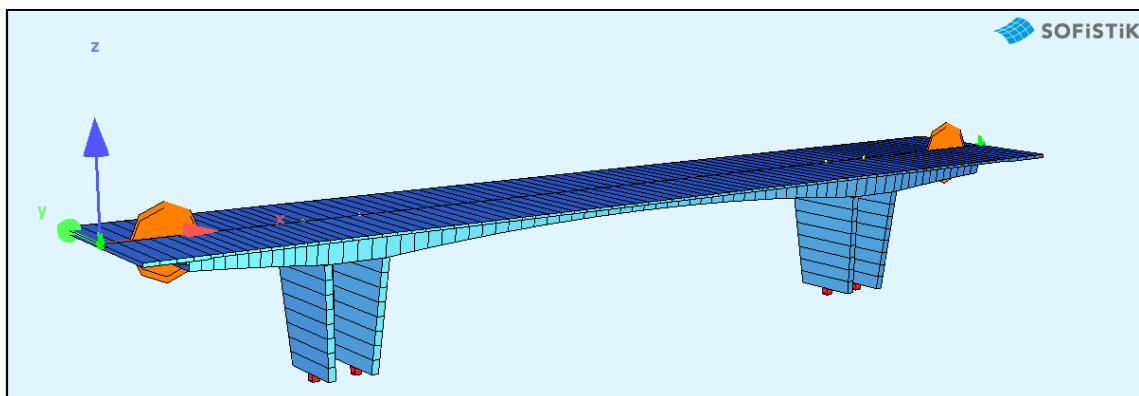


Figura 4.9 – Modelo Computacional – Visualização 3D

### **4.3. Carregamentos**

#### **4.3.1. Carregamento de peso próprio**

O carregamento de peso próprio foi automaticamente calculado pelo programa. Apenas as cargas nas transversinas intermediárias e de extremidades foram definidas externamente.

#### **4.3.2. Sobrecarga permanente**

Trata-se do caso G2 que é a carga dos elementos acessórios, ou seja, pavimentação, recapeamento, barreira lateral, passeio e guarda corpo.

#### **4.3.3. Gradiente de temperatura**

A inserção desse carregamento se dá pela inserção do gradiente de temperatura em °C, os valores foram apresentados no item 2.3.4.

Os três tipos de carregamentos acima foram aplicados ao modelo através do próprio módulo *GUI for Model Creation SOFIPLUS-(X)*, onde, primeiramente, os carregamentos foram definidos.

*Structural Elements > Loadcase > Loadcase Manager*

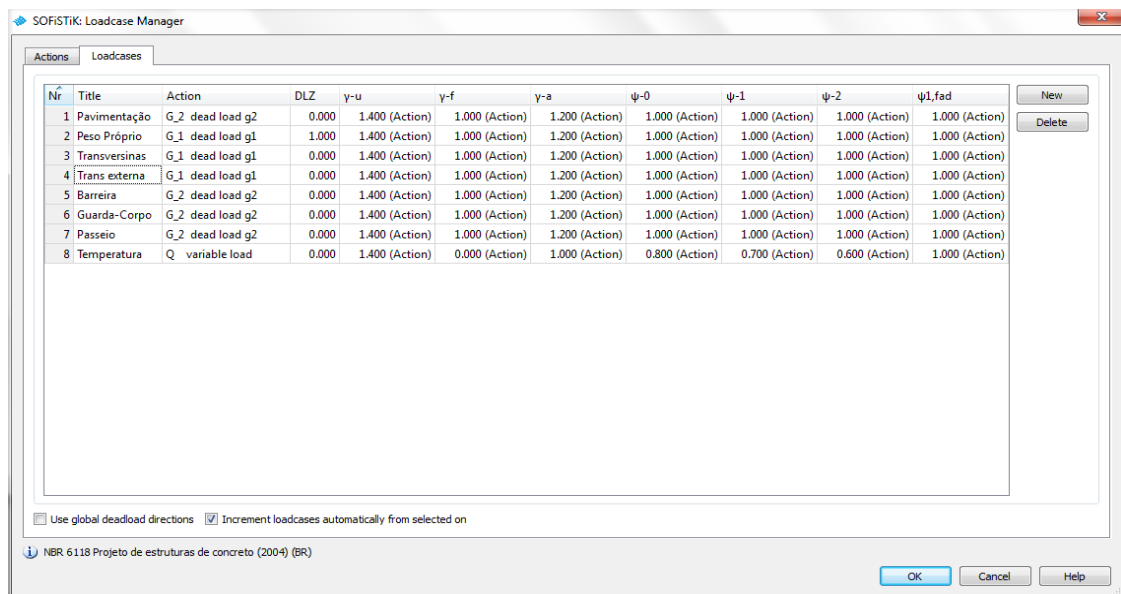


Figura 4.10 – Definição dos carregamentos

A figura 4.11, mostra as cargas aplicadas à estrutura.

*Structural Elements > Free Load*

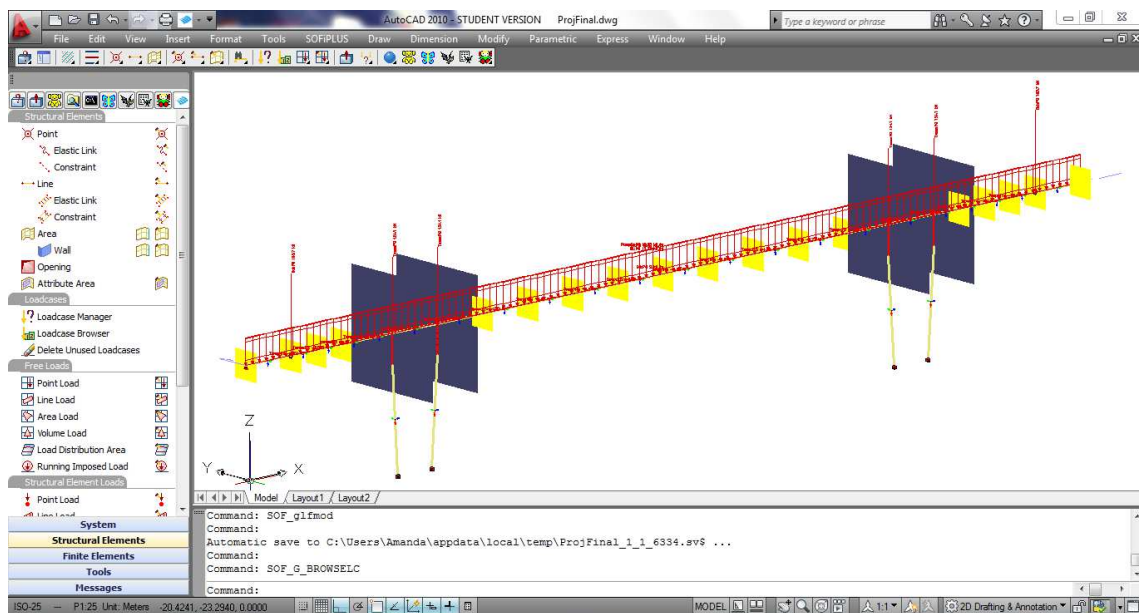


Figura 4.11 – Cargas aplicadas à estrutura

Dando sequência, exporta-se todo o modelo para o SOFISTIK *Structural Desktop* (SSD).

*Tools > Export*

#### 4.3.4. Carga móvel

Com o modelo exportado para o SOFISTIK *Structural Desktop (SSD)*, define-se a carga móvel através da inserção da tarefa *Traffic Loader*. Nesta tarefa, é possível escolher o trem tipo de acordo com a NBR 7188:1984, ficando a cargo do usuário a escolha da classe e a locação.

Para facilitar o posicionamento da carga móvel no tabuleiro e para a posterior aplicação dos coeficientes de impacto, feito através de planilha Excel, as cargas do veículo, de multidão no tabuleiro e de multidão nos passeios foram aplicadas separadamente, obtendo assim resultados dos esforços para cada carga. A figura 4.12, apresentada a definição da carga móvel.

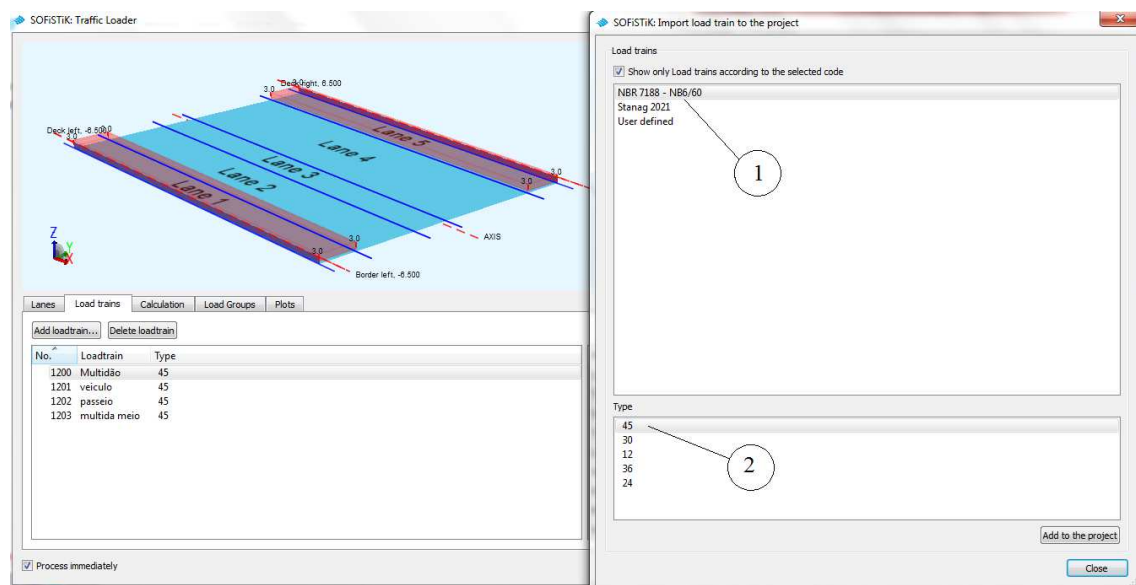


Figura 4.12 – Definição da carga móvel

onde:

- 1 – Escolha da norma;
- 2 – Escolha do trem-tipo.

## 5. COMPARAÇÃO

Esse capítulo se propõe a comparar os dois programas, fazendo uma análise de suas plataformas e expondo seus resultados.

### 5.1. Plataformas

#### 5.1.1. Módulos especializados

A criação do modelo no programa SAP2000 é realizada pelo módulo *Bridge Wizard*, onde, de forma sequencial, encontram-se as tarefas a serem definidas.

Já no programa SOFISTIK, o módulo específico para pontes, *Beam and Slab Bridge*, é somente aplicável a pontes relativamente simples, de seção praticamente constante, havendo apenas possibilidade de variação da altura total. Por outro lado, o módulo *GUI for Model Creation SOFIPLUS-(X)*, utilizado no trabalho, fornece ao usuário a possibilidade de criar qualquer tipo de estrutura. Este módulo utiliza o programa AUTOCAD como plataforma, devendo ter instalado no computador este programa em versão posterior a 2010.

#### 5.1.2. Geometria

##### 5.1.2.1. Superestrutura

No SAP2000, o usuário insere a lei paramétrica de variação de uma determinada dimensão da ponte, depois a associa à dimensão propriamente dita.

No SOFISTIK, não foram aplicadas leis paramétricas, no entanto a variação das seções foi obtida através de interpolação linear automática das seções que foram aplicadas a cada um dos *Placements*.

A seguir, as tabelas 5.1 e 5.2 apresentam, para cada programa, as características geométricas com suas respectivas discrepâncias em relação aos valores do projeto original, exibidos anteriormente na tabela 2.2. A discrepância relativa é calculada da seguinte forma:

$$\Delta (\%) = \frac{|(\text{Resultado do Programa} - \text{Projeto Original})| \times 100}{\text{Projeto Original}}$$

Tabela 5.1 – Características Geométricas da Superestrutura Geradas pelo SAP2000

Seção	Altura (m)	Área (m²)	Δ Área (%)	Ys (m)	Δ Ys (%)	Yi (m)	Δ Yi (%)	Inércia (m⁴)	Δ Inércia (%)
1	0,250	3,250	0,00	0,125	0,00	0,125	0,00	0,017	0,00
2	0,250	3,250	0,00	0,125	0,00	0,125	0,00	0,017	0,00
3	1,503	5,678	2,20	0,540	3,79	0,963	2,01	1,658	0,61
4	1,639	6,064	2,10	0,609	0,43	1,030	0,25	2,251	0,83
5	1,801	6,460	2,01	0,685	6,38	1,116	4,37	3,034	1,04
6	1,988	6,971	1,89	0,766	6,00	1,222	4,17	4,088	1,20
7	2,200	8,253	1,44	0,826	12,76	1,374	9,65	5,635	1,19
8	2,200	8,254	1,45	0,826	12,76	1,374	9,65	5,636	1,21
9	2,200	8,254	1,45	0,826	12,76	1,374	9,65	5,636	1,21
10	1,840	6,823	1,98	0,707	6,77	1,133	4,75	3,410	1,22
11	1,560	6,397	2,06	0,585	6,02	0,975	4,00	2,189	1,04
12	1,360	6,024	2,15	0,497	5,26	0,863	3,30	1,486	0,83
13	1,240	5,707	2,23	0,442	3,85	0,798	2,27	1,113	0,63
14	1,200	5,449	2,30	0,418	0,99	0,782	0,54	0,951	0,45

Tabela 5.2 – Características Geométricas da Superestrutura Geradas pelo SOFISTIK

Seção	Altura (m)	Área (m²)	Δ Área (%)	Ys (m)	Δ Ys (%)	Yi (m)	Δ Yi (%)	Inércia (m⁴)	Δ Inércia (%)
1	0,250	3,250	0,00	0,125	0,00	0,125	0,00	0,017	0,00
2	0,250	3,250	0,00	0,125	0,00	0,125	0,00	0,017	0,00
3	1,503	5,686	2,35	0,515	1,08	0,988	0,57	1,659	0,69
4	1,639	6,073	2,25	0,600	1,09	1,039	0,64	2,253	0,92
5	1,801	6,469	2,16	0,696	4,97	1,105	3,41	3,036	1,12
6	1,988	6,983	2,06	0,806	1,02	1,182	0,71	4,091	1,26
7	2,200	8,275	1,70	0,940	0,74	1,260	0,56	5,641	1,29
8	2,200	8,275	1,70	0,940	0,74	1,260	0,56	5,641	1,29
9	2,200	8,275	1,70	0,940	0,74	1,260	0,56	5,641	1,29
10	1,840	6,833	2,12	0,751	1,02	1,089	0,71	3,411	1,25
11	1,560	6,405	2,19	0,616	1,00	0,944	0,66	2,190	1,06
12	1,360	6,031	2,26	0,519	0,97	0,841	0,61	1,487	0,87
13	1,240	5,713	2,33	0,455	0,91	0,785	0,54	1,114	0,71
14	1,200	5,455	2,41	0,418	0,85	0,782	0,46	0,952	0,52

Onde:

Ys – Distância do centro de gravidade ao bordo superior do viaduto;

Yi – Distância do centro de gravidade ao bordo inferior do viaduto;

Δ – Discrepância relativa.

Nota-se, que os valores estão compatíveis com o projeto original, sendo o programa SOFISTIK o que obteve os mais próximos.

#### **5.1.2.2. Mesoestrutura**

Na definição dos pilares, o programa SAP2000 apresenta dois inconvenientes, que são: a não interpolação automática das seções e a obrigatoriedade de inserção de travessas nos pilares.

Para o SOFISTIK, as seções de topo e base foram definidas e a partir delas foi feito a interpolação automática para obtenção das seções intermediárias.

#### **5.1.2.3. Aplicação de cargas**

Ambos os programas calculam o peso próprio automaticamente, sendo as demais cargas permanentes e o gradiente de temperatura definidas e aplicadas pelo usuário.

Com relação à carga móvel, o programa SOFISTIK oferece ao usuário a possibilidade de definição desta carga de acordo com a NBR7188:1984. Já no SAP2000, as cargas são definidas pelo usuário.

### **5.2. Resultados**

Os resultados foram obtidos tanto para análise estática realizada nos próprios programas, quanto os valores provenientes das combinações no estado limite último.

As análises realizadas, no SAP2000 e no SOFISTIK, consideram os carregamentos expostos no capítulo 2, com seus valores característicos e sem aplicação do coeficiente de impacto a carga móvel.

Os esforços obtidos foram então combinados para  $t = \text{infinito}$ , de forma a se conseguir as envoltórias para os efeitos mais desfavoráveis de flexão, cisalhamento e torção. Embora ambos os programas realizem as combinações, optou-se fazê-las através de planilha Excel, onde também foram aplicados os coeficientes de impacto.

### 5.2.1. Diagramas de Esforços Devidos aos Carregamentos

A seguir são apresentados os diagramas dos esforços, em valores característicos, obtidos para o trecho do viaduto a partir dos carregamentos aplicados ao modelo de análise dos programas SAP2000 e do SOFISTIK.

#### 5.2.1.1. Esforços Devido ao Carregamento G1

Os diagramas de momento fletor e cortante devido ao carregamento G1 são apresentados nas figuras 5.1 e 5.2 respectivamente.

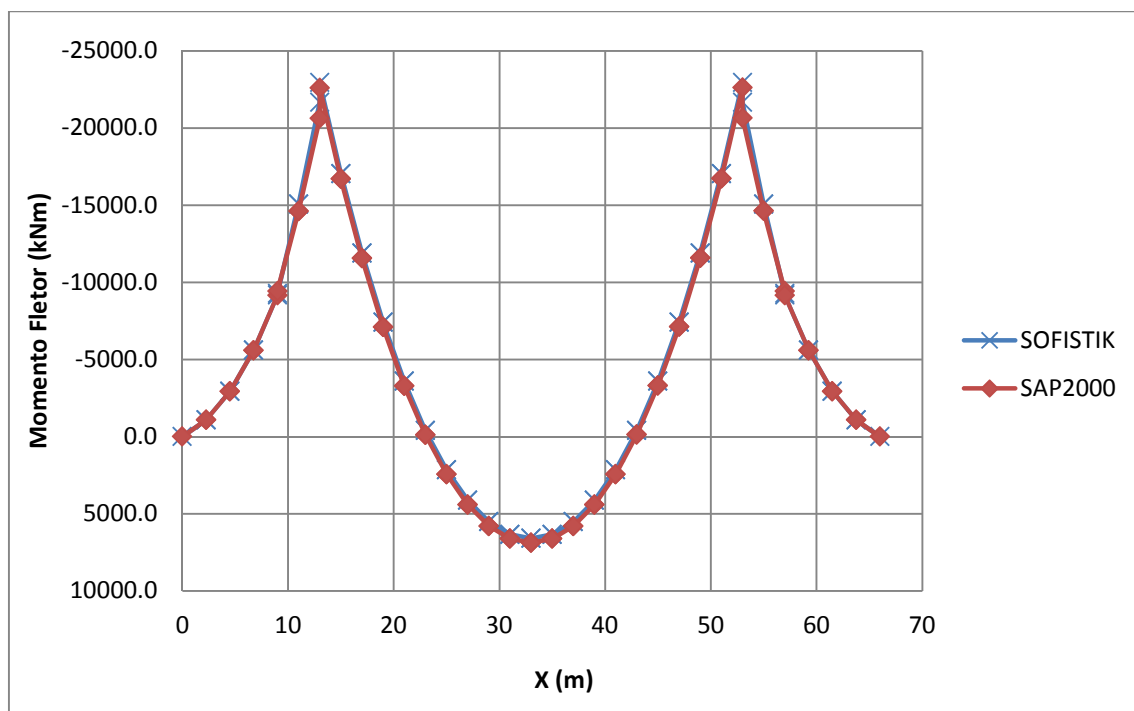


Figura 5.1 – Diagrama de Momentos Fletores – G1



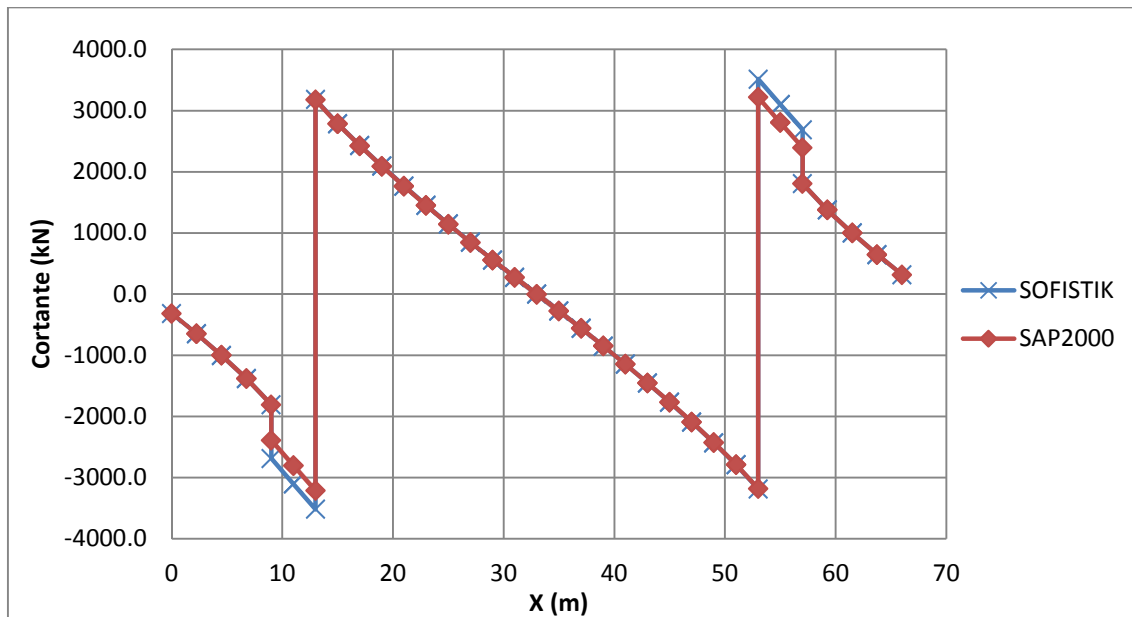


Figura 5.2 – Diagrama de Esforço Cortante – G1

A tabela 5.3, apresenta os valores dos diagramas de momento fletor e cortante para seções sobre os pilares e no meio do vão central, com comparação entre os valores obtidos para os dois programas.

Tabela 5.3 – Valores de Momento Fletor e Cortante para Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M. Fletor (kNm)	SAP2000 M. Fletor (kNm)	MFsof/MFsap	SOFISTIK Cortante (kNm)	SAP2000 Cortante (kNm)	Cortsof/Cortsap
7	Antes do P1	-9166	-9163	1,00	-1806	-1806	1,00
7	Depois do P1	-9269	-9427	0,98	-2687	-2387	1,13
9	Antes do P2	-21672	-20624	1,05	-3514	-3212	1,09
9	Depois do P2	-22943	-22604	1,01	3182	3177	1,00
14	Meio do vão	6602	6881	0,96	0	0	1,00

Nota-se que os valores de momento fletor para cada análise foram correspondentes, para este caso a relação entre o SOFISTIK e o SAP2000 apresentou diferença máxima de 5%. Já para o cortante, observa-se que entre a dupla de pilares o programa SOFISTIK apresentou maiores diferenças em valores de até 13% em relação aos do SAP2000.

### 5.2.1.2. Esforços Devido ao Carregamento G2

Os diagramas de momento fletor e cortante devido ao carregamento G2 são apresentados nas figuras 5.3 e 5.4 respectivamente.

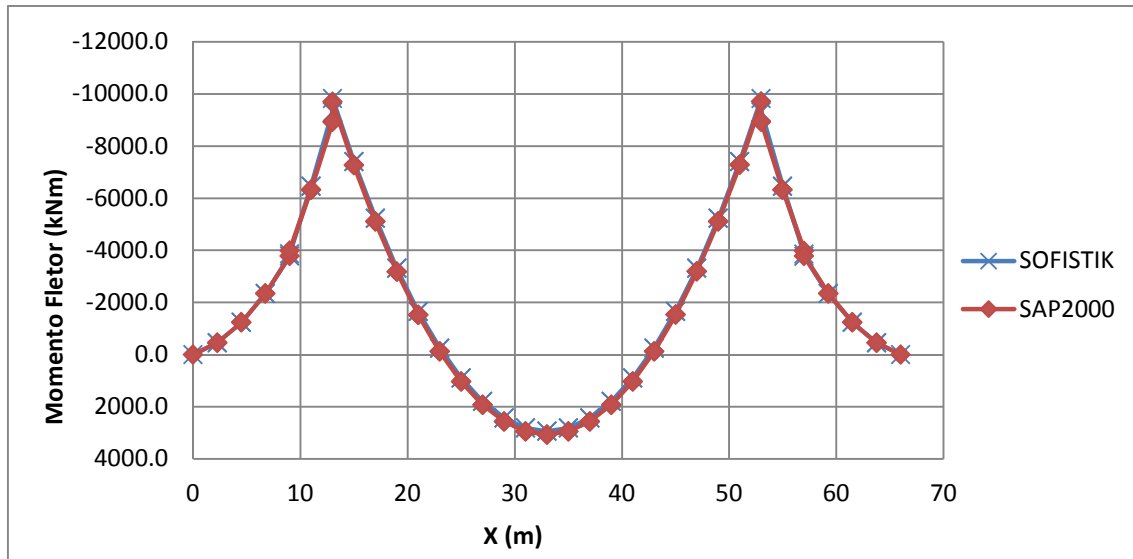


Figura 5.3 – Diagrama de Momentos Fletores – G2

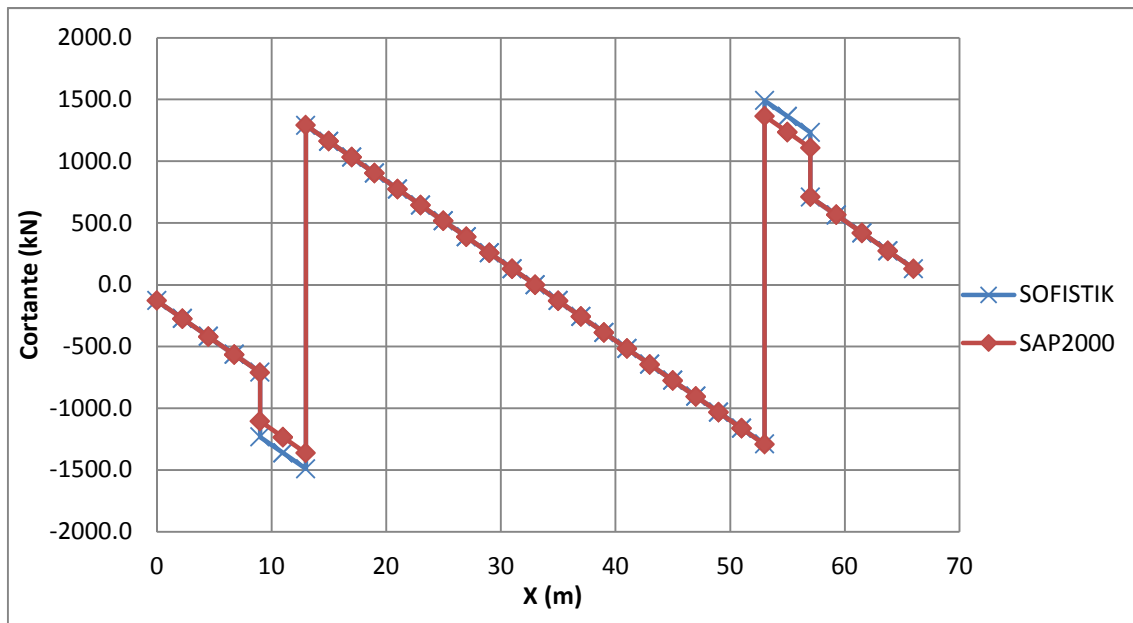


Figura 5.4 – Diagrama de Esforço Cortante – G2

A tabela 5.4, apresenta os valores dos diagramas de momento fletor e cortante para seções sobre os pilares e no meio do vão central, com comparação entre os valores obtidos para os dois programas.

Tabela 5.4 – Valores de Momento Fletor e Cortante para Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M. Fletor (kNm)	SAP2000 M. Fletor (kNm)	MFsof/MFsap	SOFISTIK Cortante (kNm)	SAP2000 Cortante (kNm)	Cortsof/Cortsap
7	Antes do P1	-3775	-3780	1,00	-710	-711	1,00
7	Depois do P1	-3860	-3982	0,97	-1233	-1105	1,12
9	Antes do P2	-9307	-8917	1,04	-1491	-1363	1,09
9	Depois do P2	-9822	-9698	1,01	1290	1292	1,00
14	Meio do vão	2939	3071	0,96	0	0	1,00

Observa-se que os valores de momento fletor para cada análise foram correspondentes, para este caso a relação entre o SOFISTIK e o SAP2000 apresentou diferença máxima de 4%. Já para o cortante, observa-se que entre a dupla de pilares o programa SOFISTIK apresentou maiores valores de até 12% em relação aos do SAP2000.

### 5.2.1.3. Esforços devido ao Hiperestático de Protensão

Para esta ação serão utilizados os mesmo esforços usados no projeto original. Na figura 5.5, tem-se o diagrama de momento fletor devido ao hiperestático de protensão e na figura 5.6 tem-se o cortante.

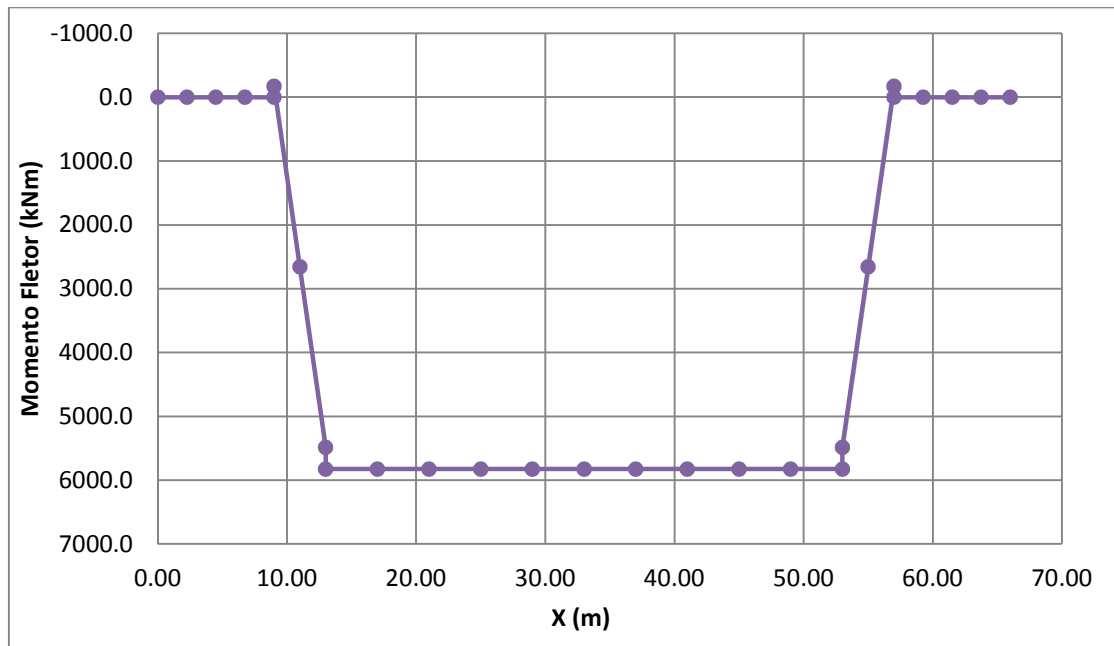


Figura 5.5 – Diagrama de Momento Fletores – Hiperestático de Protensão

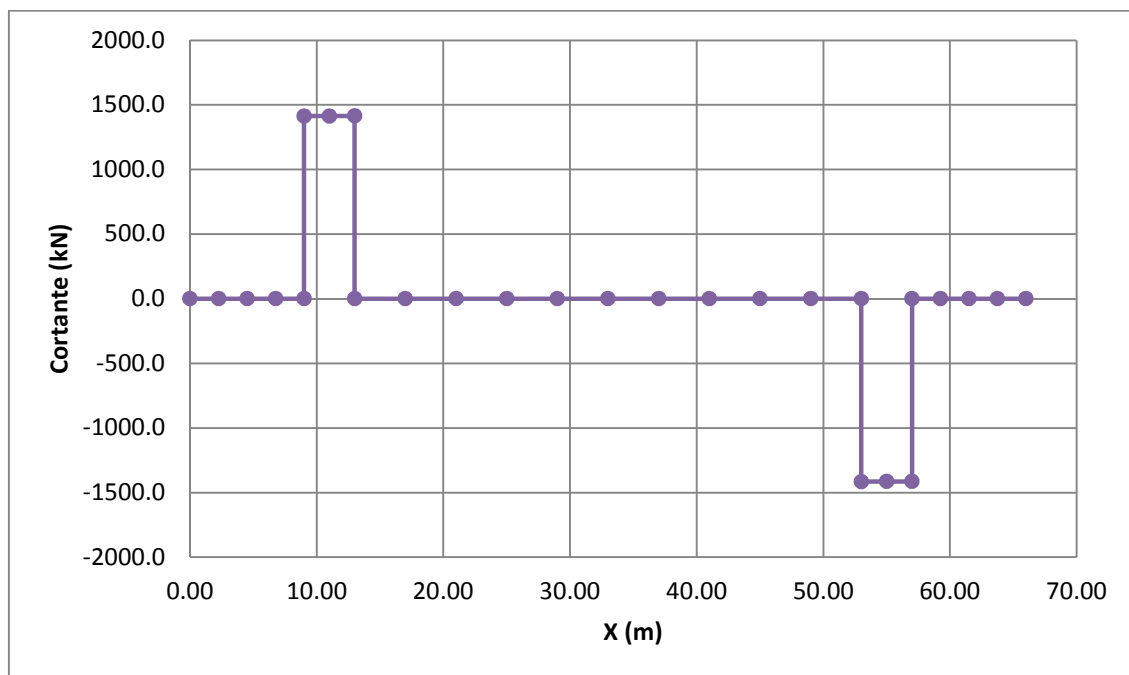


Figura 5.6 – Diagrama de Cortante – Hiperestático de Protensão

#### 5.2.1.4. Esforços Devido ao Carregamento de Gradiente de Temperatura

Os diagramas de momento fletor e cortante devido ao gradiente de temperatura são apresentados nas figuras 5.7 e 5.8 respectivamente.

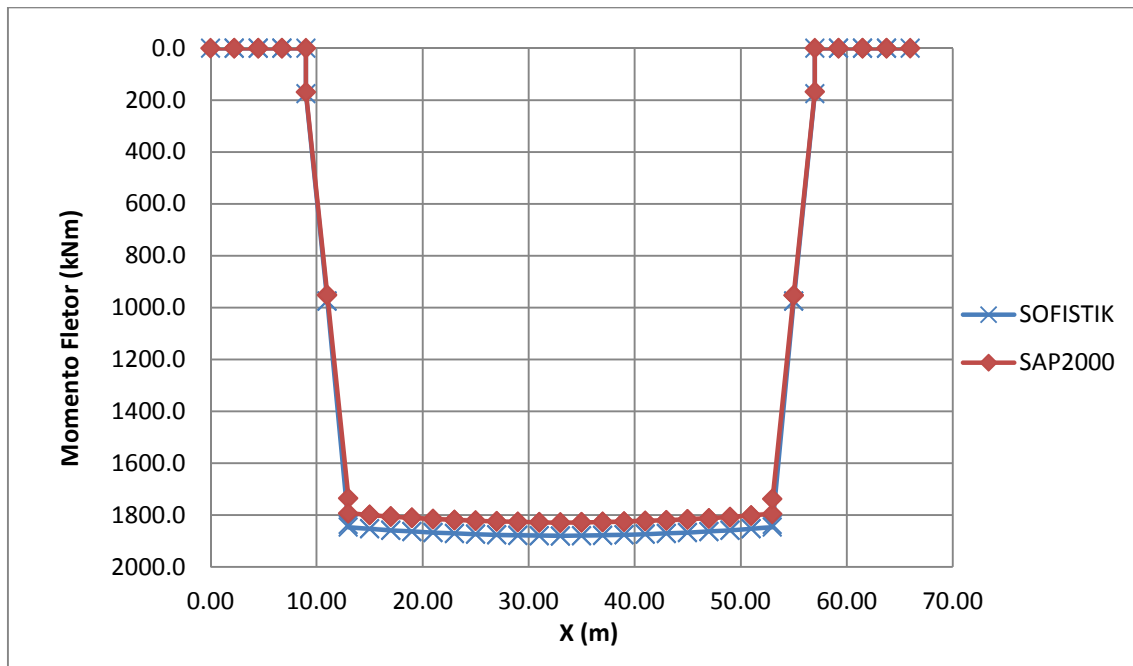


Figura 5.7 – Diagrama de Momentos Fletores – Gradiente de Temperatura

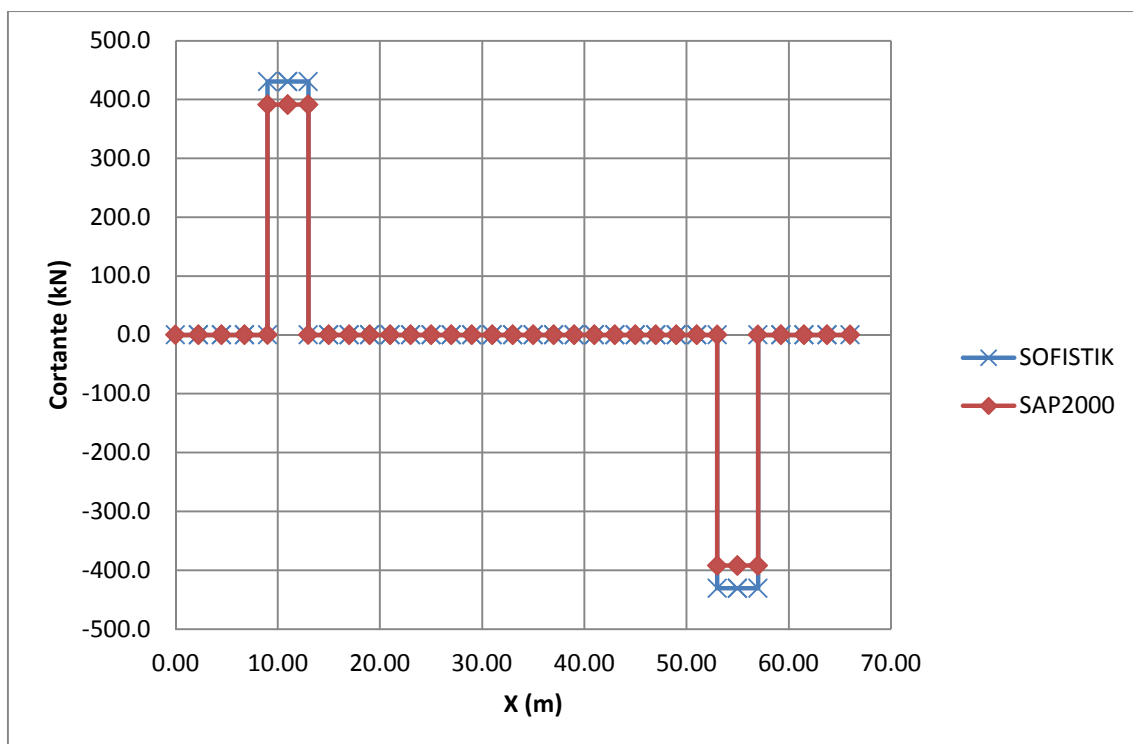


Figura 5.8 – Diagrama de Esforço Cortante – Gradiente de Temperatura

A tabela 5.5, apresenta os valores dos diagramas de momento fletor e cortante para seções sobre os pilares e no meio do vão central, com comparação entre os valores obtidos para os dois programas.

Tabela 5.4 – Valores de Momento Fletor e Cortante para Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M. Fletor (kNm)	SAP2000 M. Fletor (kNm)	MFsof/MFsap	SOFISTIK Cortante (kNm)	SAP2000 Cortante (kNm)	Cortsof/Cortsap
7	Antes do P1	0	0	1,00	0	0	1,00
7	Depois do P1	175	168	1,04	431	391	1,10
9	Antes do P2	1836	1734	1,06	431	391	1,10
9	Depois do P2	1846	1793	1,03	0	0	1,00
14	Meio do vão	1880	1829	1,03	0	0	1,00

Observa-se que para este carregamento o programa SOFISTIK gerou esforços maiores do que os do SAP2000, apresentando uma relação máxima entre os valores de momento fletor de 6% e para o cortante de 10%. Essa diferença pode ter como causa a simplificação utilizada na atribuição do gradiente de temperatura ao programa SOFISTIK.

#### 5.2.1.5. Esforços Devido ao Carregamento Carga Móvel

Serão apresentados abaixo os dois casos de aplicação da carga móvel, a primeira com todo o tabuleiro carregado e a segunda com meio tabuleiro carregado. Em ambas as situações são exibidas não só as envoltórias de momento fletor, esforço cortante e também as de momento torsor.

##### a) Esforços devido ao tabuleiro totalmente carregado

Neste caso, o veículo tipo encontra-se encostado à barreira lateral e com a carga de multidão distribuída em todo o tabuleiro, apresentando também os dois passeios carregados. A figura 5.9 apresenta as envoltórias de momento fletor para esta carga, e em seguida apresentou-se através da tabela 5.5 os valores do momento fletor nas seções sobre os pilares e no meio do vão central com comparação entre os valores obtidos para cada programa.

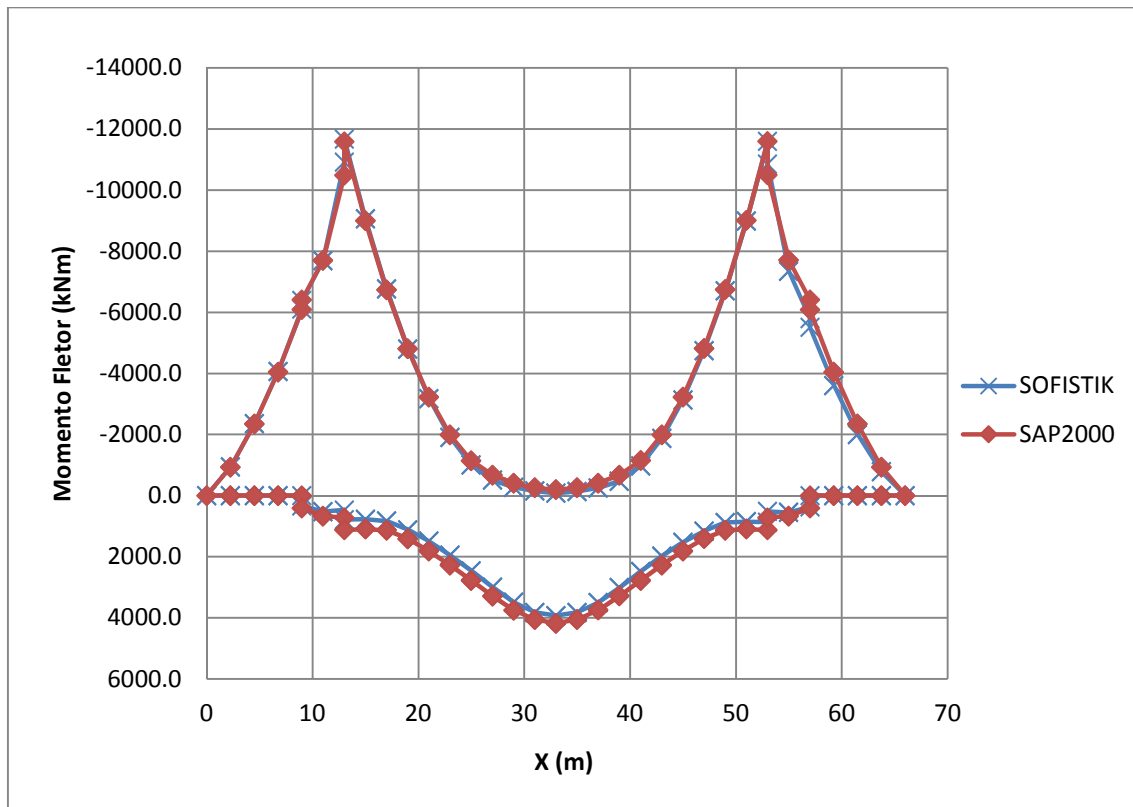


Figura 5.9 – Envoltórias de Momentos Fletores para Carga Móvel – Tabuleiro  
Totalmente Carregado

Tabela 5.5 – Valores da Envoltória de Momento Fletor em Seções Sobre Pilares e Meio  
do Vão Central com Comparação Entre os Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M. Fletor Máximo (kNm)	SAP2000 M. Fletor Máximo (kNm)	MFsof/MFsap	SOFISTIK M. Fletor Mínimo (kNm)	SAP2000M . Fletor Mínimo (kNm)	MFsof/MFsap
7	Antes do P1	0	0	1,00	-6103	-6081	1,00
7	Depois do P1	340	407	0,84	-6391	-6409	1,00
9	Antes do P2	469	719	0,65	-10912	-10483	1,04
9	Depois do P2	782	1124	0,70	-11665	-11585	1,01
14	Meio do vão	3927	4176	0,94	-79	-194	0,41

Nota-se que para os valores significativos de projeto, os resultados obtidos pelos programas são coerentes.

Na figura 5.10 são apresentadas as envoltórias de cortante, e na tabela 5.6 estão indicados os valores do cortante nas seções sobre os pilares e no meio do vão central com comparação entre os valores obtidos para cada programa.

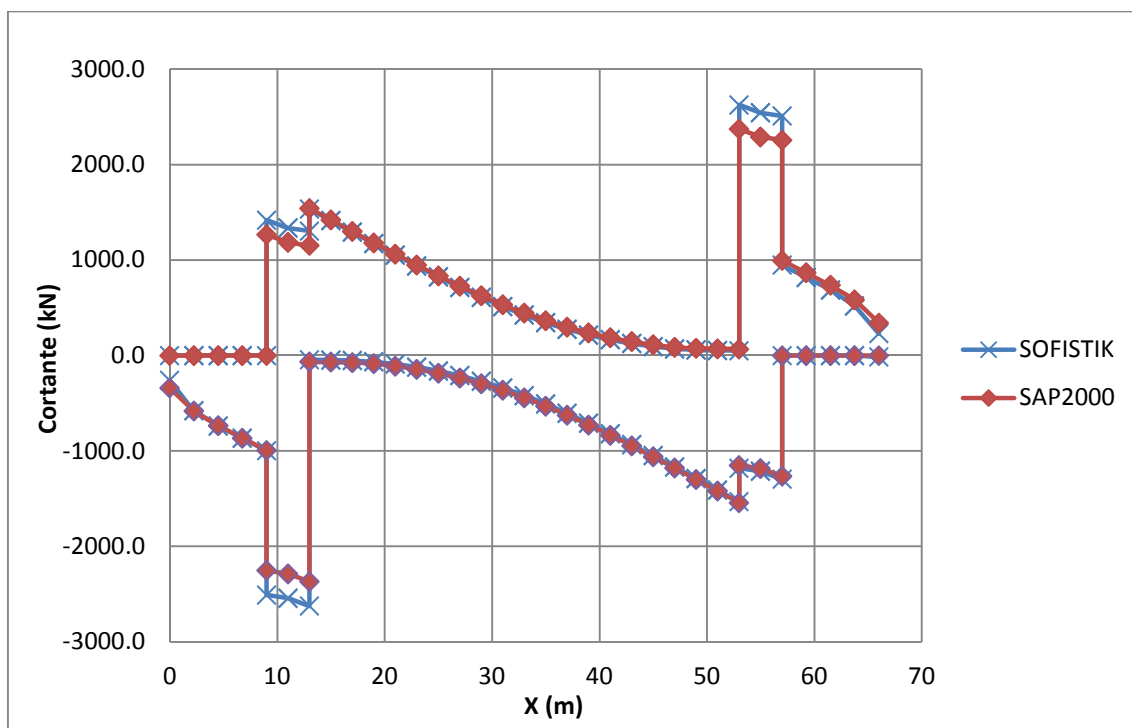


Figura 5.10 – Diagrama de Esforços Cortante para Carga Móvel – Tabuleiro Totalmente Carregado

Tabela 5.6 – Valores da Envoltória de Cortante em Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Valores Obtidos para Cada Programas

Seção	Observação	SOFISTIK Cortante Máximo (kNm)	SAP2000 Cortante Máximo (kNm)	Cortsof/Cortsap	SOFISTIK Cortante Mínimo (kNm)	SAP2000 Cortante Mínimo (kNm)	Cortsof/Cortsap
7	Antes do P1	0	0	1,00	-998	-996	1,00
7	Depois do P1	1418	1267	1,12	-2509	-2253	1,11
9	Antes do P2	1304	1151	1,13	-2625	-2369	1,11
9	Depois do P2	1535	1542	0,995	-45	-66	0,68
14	Meio do vão	423	443	0,95	-419	-444	0,94

Observa-se que para o cortante nos trechos entre as duplas de pilares o SOFISTIK apresenta maiores valores do que o SAP2000.

Na figura 5.11 são apresentadas as envoltórias de momento torsor, e na tabela 5.7 estão indicados os valores do momento torsor nas seções sobre os pilares e no meio do vão central com comparação entre os valores obtidos para cada programa.



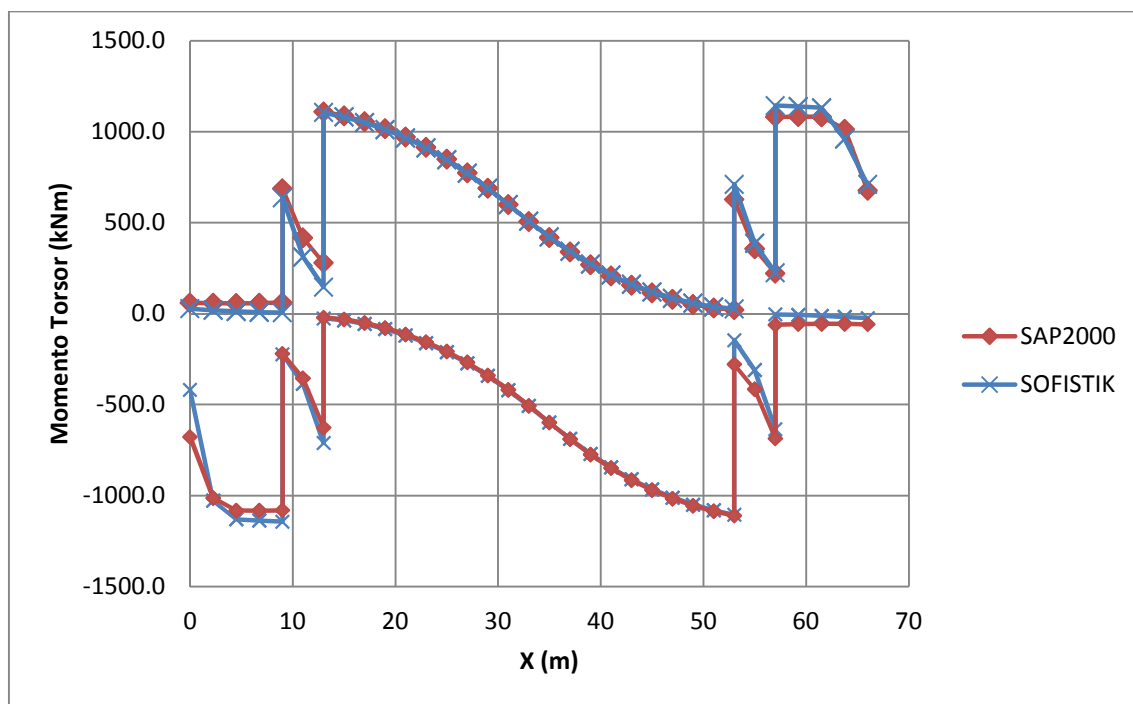


Figura 5.11 – Diagrama de Momentos Torsores para Carga Móvel – Tabuleiro Totalmente Carregado

Tabela 5.7 – Valores da Envoltória de Momento Torsor em Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Valores Obtidos para Cada Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M.Torsor Máximo (kNm)	SAP2000 M.Torsor Máximo (kNm)	MTsof/MTsap	SOFISTIK M.Torsor Mínimo (kNm)	SAP2000 M.Torsor Mínimo (kNm)	MTsof/MTsap
7	Antes do P1	5	62	0,08	-1143	-1081	1,06
7	Depois do P1	636	687	0,93	-224	-221	1,01
9	Antes do P2	146	279	0,52	-711	-627	1,13
9	Depois do P2	1106	1110	1,00	-26	-21	1,25
14	Meio do vão	508	507	1,00	-508	-507	1,00

Para os valores significativos de projeto, os resultados obtidos entre os programas são coerentes.

#### b) Esforços devido a meio tabuleiro carregado

Neste caso, o veículo tipo encontra-se encostado à barreira lateral e com a carga de multidão distribuída em meio tabuleiro, apresentando apenas um passeio carregado. A figura 5.12 apresenta as envoltórias de momento fletor para esta carga, e em seguida é

exibido através da tabela 5.8 os valores do momento fletor nas seções sobre os pilares e no meio do vão central com comparação entre os valores obtidos para cada programa.

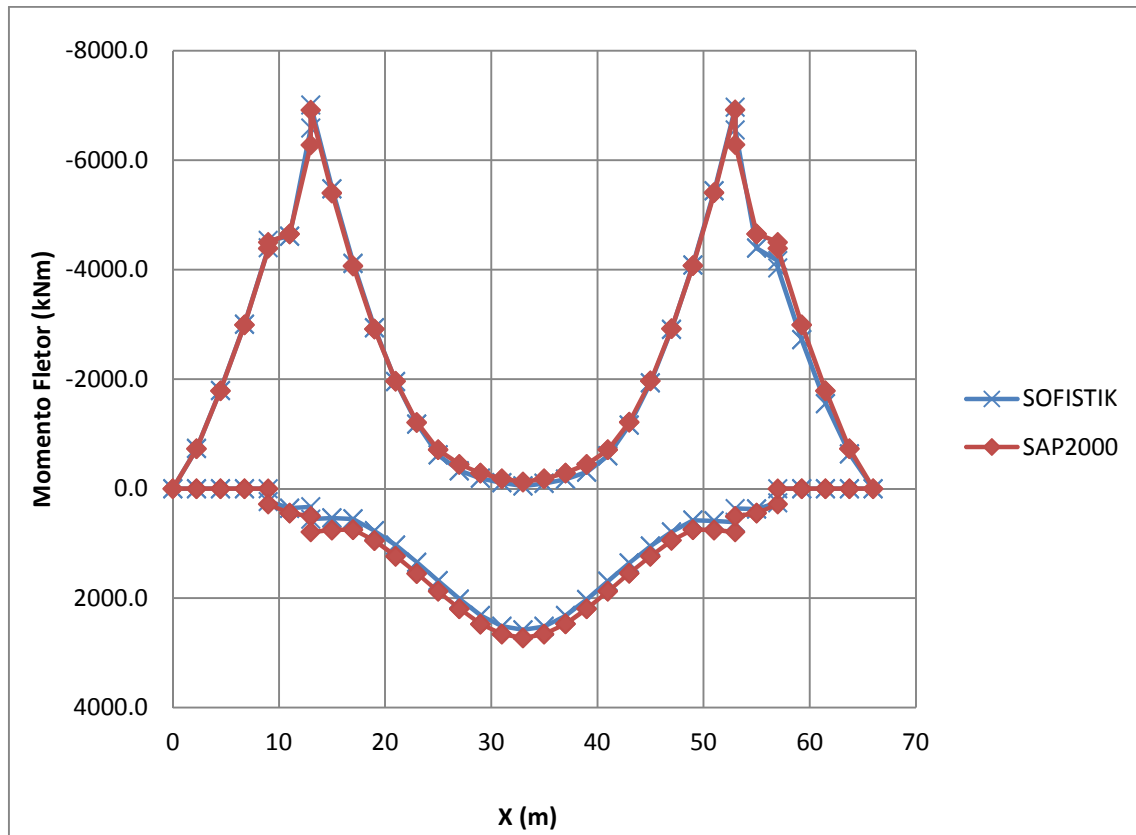


Figura 5.12 – Diagrama de Momentos Fletores para Carga Móvel – Meio Tabuleiro Carregado

Tabela 5.8 – Valores da Envoltória de Momento Fletor em Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M. Fletor Máximo (kNm)	SAP2000 M. Fletor Máximo (kNm)	MFsof/MFsap	SOFISTIK M. Fletor Mínimo (kNm)	SAP2000M. Fletor Mínimo (kNm)	MFsof/MFsap
7	Antes do P1	0	0	1,00	-4402	-4391	1,00
7	Depois do P1	235	284	0,83	-4535	-4505	1,00
9	Antes do P2	331	503	0,65	-6588	-6281	1,04
9	Depois do P2	556	793	0,70	-7010	-6917	1,01
14	Meio do vão	2580	2728	0,95	-50	-123	0,41

Nota-se que para os valores significativos de projeto, os resultados obtidos são coerentes.

Na figura 5.13 são apresentadas as envoltórias de cortante, e na tabela 5.9 estão indicados os valores do cortante nas seções sobre os pilares e no meio do vão central com comparação entre os valores obtidos para cada programa.

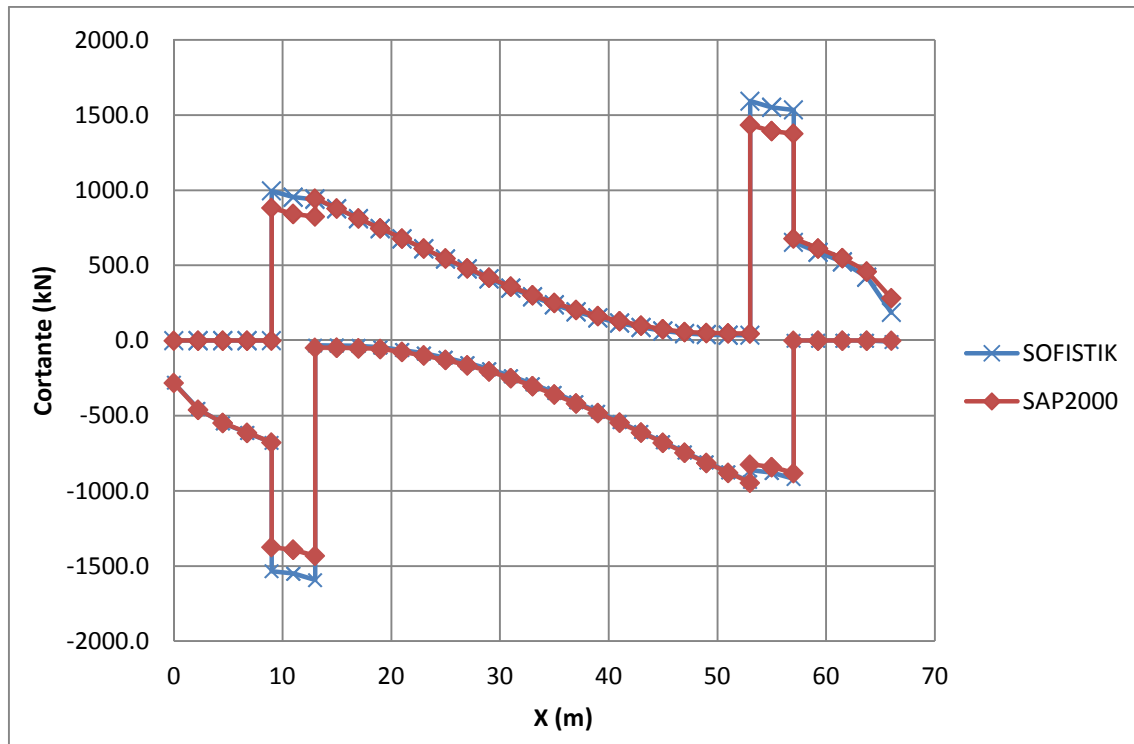


Figura 5.13 – Diagrama de Esforço Cortante para Carga Móvel – Meio Tabuleiro Carregado

Tabela 5.9 – Valores da Envoltória de Cortante em Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Valores Obtidos para Cada Programas

Seção	Observação	SOFISTIK Cortante Máximo (kNm)	SAP2000 Cortante Máximo (kNm)	Cortsof/Cortsap	SOFISTIK Cortante Mínimo (kNm)	SAP2000 Cortante Mínimo (kNm)	Cortsof/Cortsap
7	Antes do P1	0	0	1,00	-679	-678	1,00
7	Depois do P1	995	882	1,12	-1534	-1374	1,11
9	Antes do P2	938	825	1,13	-1593	-1433	1,11
9	Depois do P2	942	945	0,997	-32	-47	0,68
14	Meio do vão	291	302	0,96	-290	-302	0,96

Observa-se que para o cortante nos trechos entre as duplas de pilares o SOFISTIK apresenta maiores valores do que o SAP2000.

Na figura 5.14 são apresentadas as envoltórias de momento torsor, e na tabela 5.10 estão indicados os valores do momento torsor nas seções sobre os pilares e no meio do vão central com comparação entre os valores obtidos para cada programa.

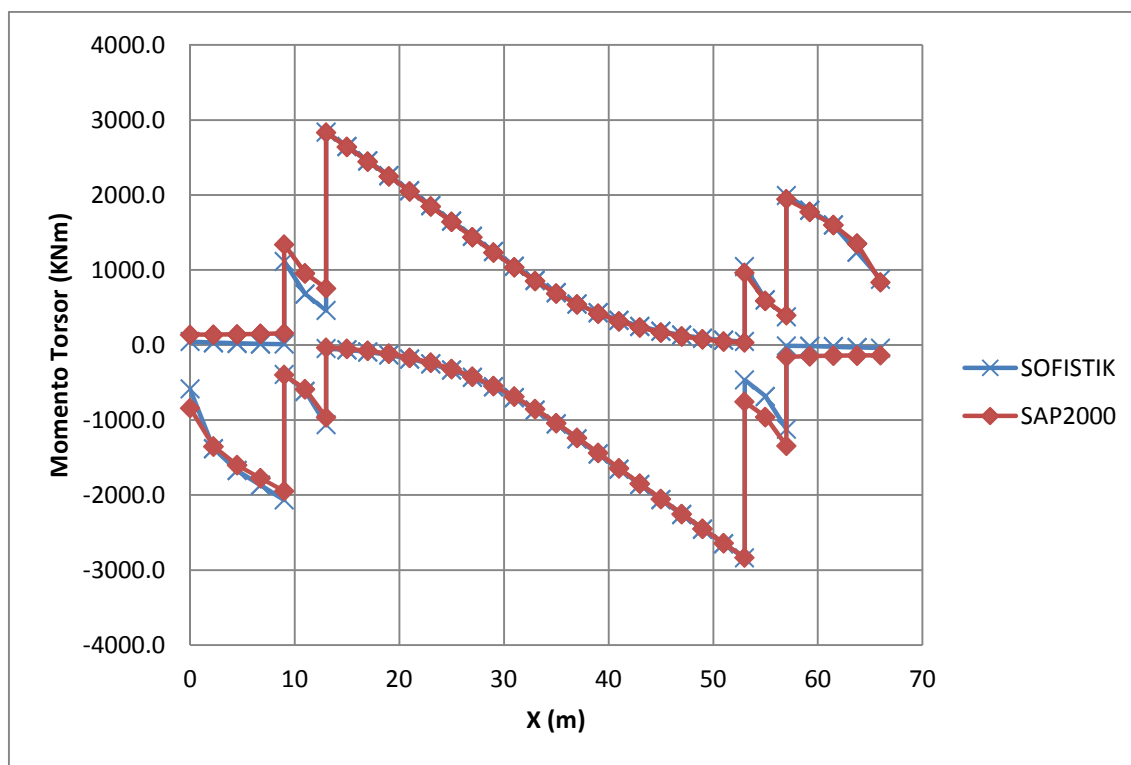


Figura 5.14 – Diagrama de Momentos Torsores para Carga Móvel – Meio Tabuleiro Carregado

Tabela 5.10 – Valores da Envoltória de Cortante em Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Valores Obtidos para Cada Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M.Torsor Máximo (kNm)	SAP2000 M.Torsor Máximo (kNm)	MTsof/MTsap	SOFISTIK M.Torsor Mínimo (kNm)	SAP2000 M.Torsor Mínimo (kNm)	MTsof/MTsap
7	Antes do P1	12	159	0,08	-2067	-1946	1,06
7	Depois do P1	1115	1342	0,83	-390	-396	0,98
9	Antes do P2	461	755	0,61	-1063	-964	1,10
9	Depois do P2	2837	2833	1,00	-48	-35	1,39
14	Meio do vão	867	854	1,02	-867	-854	1,01

Para os valores significativos de projeto, os resultados obtidos entre os programas são coerentes.

### 5.2.2. Envoltória das Combinações no Estado Limite Último

A partir dos esforços obtidos, foram feitos então as combinações exibidas no item 2.5. E através dessas foram traçadas as envoltórias de momento fletor, cortante e momento torsor.

A seguir, a figura 5.15 apresenta a envoltória de momento fletor para os dois programas e em seguida, a tabela 5.11 mostra os valores das seções sobre o pilar e no meio do vão central para com comparação entre valores obtidos para cada programa.

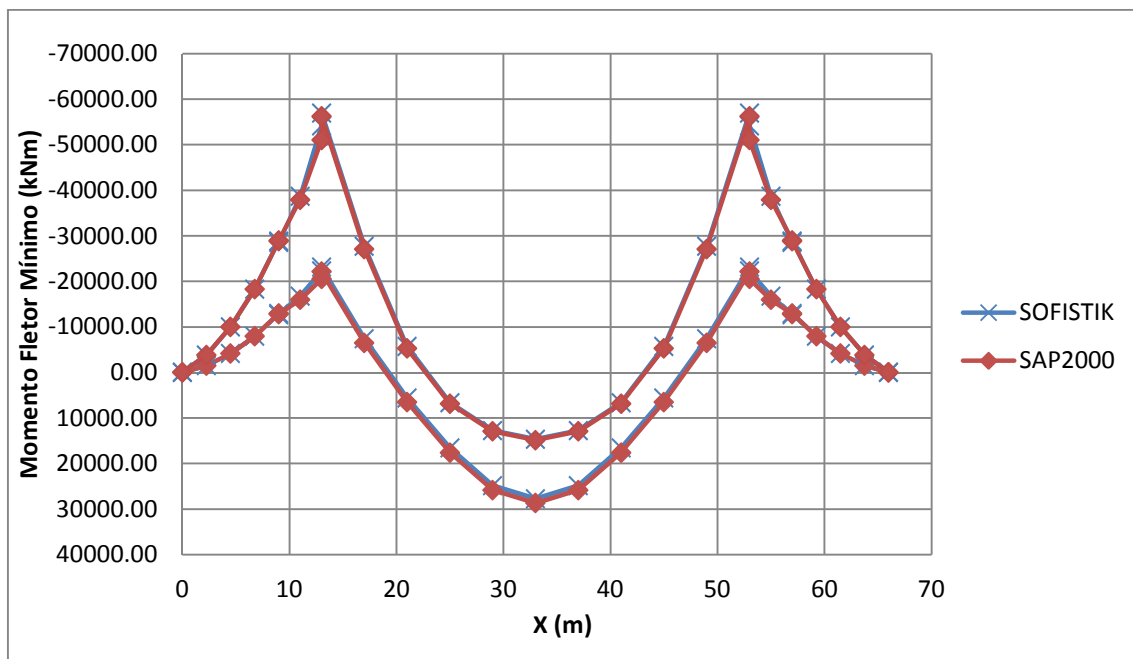


Figura 5.15 – Envoltória de Momento Fletor (ELU)

Tabela 5.11 – Valores da Envoltória de Momento Fletor (ELU) em Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M. Fletor Máximo (kNm)	SAP2000 M. Fletor Máximo (kNm)	MFsof/MFsap	SOFISTIK M. Fletor Mínimo (kNm)	SAP2000M. Fletor Mínimo (kNm)	MFsof/MFsap
7	Antes do P1	-12941	-12943	<b>1,00</b>	-28872	-28835	<b>1,00</b>
7	Depois do P1	-12645	-12818	<b>0,99</b>	-28543	-28947	<b>0,99</b>
9	Antes do P2	-22295	-20517	<b>1,09</b>	-54147	-51081	<b>1,06</b>
9	Depois do P2	-23147	-22155	<b>1,04</b>	-56976	-56223	<b>1,01</b>
14	Meio do vão	27731	28659	<b>0,97</b>	14652	14872	<b>0,99</b>

A envoltória máxima de momento fletor obtida com o SOFISTIK, apresentou uma diferença máxima de 9% em relação à obtida pelo SAP2000. Para a envoltória mínima, a diferença máxima foi de 6%.

A figura 5.16, a seguir, apresenta a envoltória de cortante para os dois programas e em seguida, a tabela 5.12 mostra os valores das seções sobre o pilar e no meio do vão central para com comparação entre valores obtidos para cada programa.

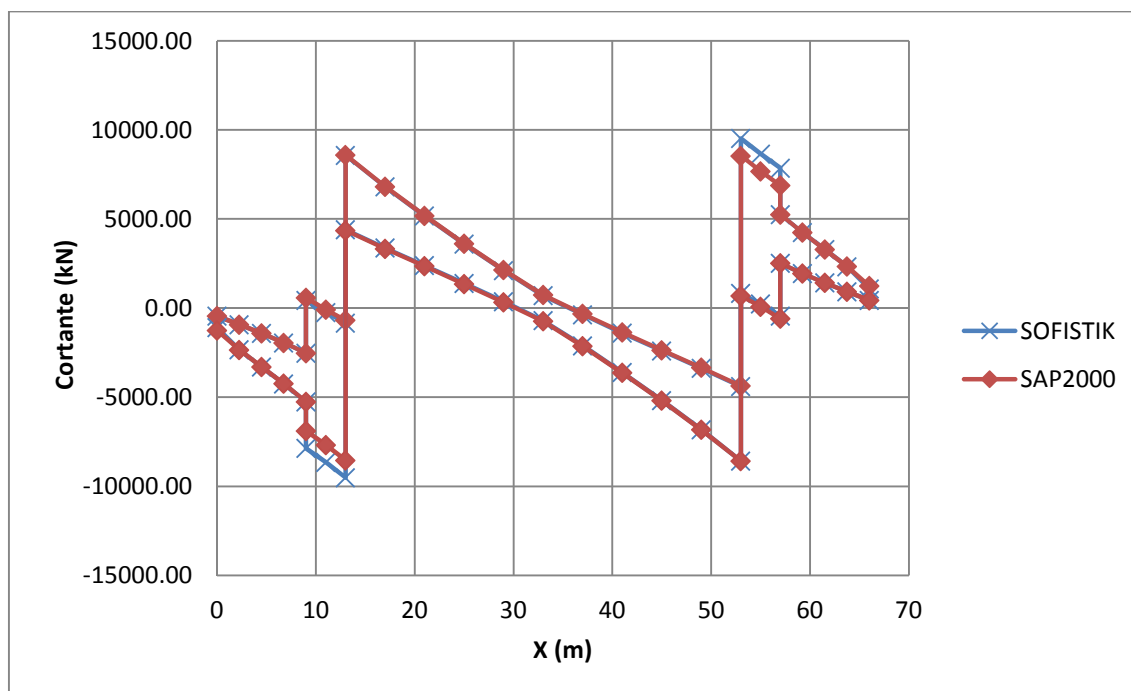


Figura 5.16 – Envoltória de Cortante (ELU)

Tabela 5.12 – Valores da Envoltória de Cortante (ELU) em Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Programas

Seção	Observação	SOFISTIK Cortante Máximo (kNm)	SAP2000 Cortante Máximo (kNm)	Cortsof/Cortsap	SOFISTIK Cortante Mínimo (kNm)	SAP2000 Cortante Mínimo (kNm)	Cortsof/Cortsap
7	Antes do P1	-2516	-2517	<b>1,00</b>	-5255	-5253	<b>1,00</b>
7	Depois do P1	442	589	<b>0,75</b>	-7858	-6884	<b>1,14</b>
9	Antes do P2	-832	-683	<b>1,22</b>	-9515	-8538	<b>1,11</b>
9	Depois do P2	8576	8584	<b>1,00</b>	4398	4360	<b>1,01</b>
14	Meio do vão	701	735	<b>0,95</b>	-695	-736	<b>0,94</b>

Observa-se que para a envoltória de cortante nos trechos entre as duplas de pilares o SOFISTIK apresenta maiores valores do que o SAP2000.

A seguir, a figura 5.17 apresenta a envoltória de momento torsor para os dois programas e em seguida, a tabela 5.13 mostra os valores nas seções sobre o pilar e no meio do vão central e comparação entre valores obtidos para cada programa.

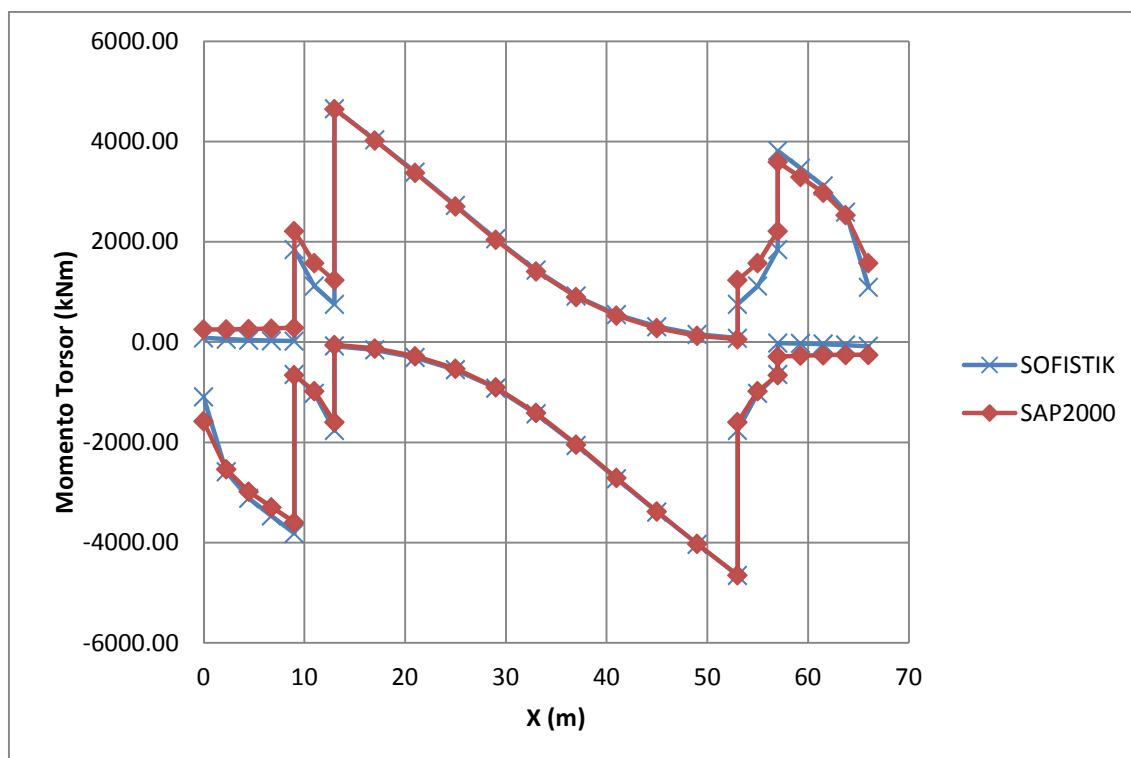


Figura 5.17 – Envoltória de Momento Torsor (ELU)

Tabela 5.13– Valores da Envoltória de Momento Torsor (ELU) em Seções Sobre Pilares e Meio do Vão Central com Comparação Entre os Programas

Seção	Observação	SOFISTIK M.Torsor Máximo (kNm)	SAP2000 M.Torsor Máximo (kNm)	MTsof/MTsap	SOFISTIK M.Torsor Mínimo (kNm)	SAP2000 M.Torsor Mínimo (kNm)	MTsof/MTsap
7	Antes do P1	22	289	0.07	-3815	-3593	1.06
7	Depois do P1	1842	2213	0.83	-644	-655	0.98
9	Antes do P2	753	1238	0.61	-1762	-1599	1.10
9	Depois do P2	4655	4649	1.00	-80	-57	1.39
14	Meio do vão	1434	1412	1.02	-1432	-1413	1.01

Para os valores significativos de projeto, os resultados obtidos entre os programas são coerentes.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1. Conclusão

A criação do modelo do SAP2000 seguiu os passos do exemplo 4 do tutorial, onde é abordada a modelagem de uma ponte. O tutorial apresenta linguagem objetiva e de fácil entendimento, o que facilita o aprendizado. Outro fato que contribui para o aprendizado e minora possíveis equívocos é a forma de apresentação do módulo *Bridge Wizard*, onde tarefas a serem definidas, encontram-se de forma sequencial.

Para a modelagem no SOFISTIK, foi seguido o tutorial fornecido pelo programa, “*Bridge Design CABD-Concept*”. A compreensão do tutorial é prejudicada pela falta de exemplos práticos e pela difícil aplicação no programa dos comandos demonstrados.

Com relação aos resultados obtidos pelos programas chegaram-se às seguintes constatações: para as cargas permanentes, G1 e G2, os programas obtiveram esforços correspondentes, os diagramas de momento fletor apresentaram diferença máxima entre os valores de 5%. Já os diagramas de cortante apresentaram valores iguais para os dois programas, com exceção do trecho entre a dupla de pilares onde o cortante obtido pelo SOFISTIK apresentou ser maior do que o SAP2000 em até 13%. Para o carregamento devido ao gradiente de temperatura, os diagramas de momento fletor e cortante do SOFISTIK foram no máximo 6% e 10%, respectivamente, maiores do que os do SAP2000, esta diferença pode ter como causa a simplificação adotada na atribuição do gradiente de temperatura ao programa SOFISTIK. Para os valores significativos de projeto, a carga móvel obteve resultados coerentes.

Para combinações no estado limite último, a envoltória de momento fletor apresentou diferença máxima, entre os valores obtidos pelos programas, de 9%. A envoltória de cortante apresentou diferença de resultados significativa apenas na região entre a dupla de pilares, sendo igual a 25%. As envoltórias de momento torsor, obtidas pelos programas, apresentaram valores significativos de projeto coerentes.

Assim, conclui-se que para as cargas permanentes o SAP2000 e o SOFISTIK comportam-se de maneira similar. Para cargas móveis, os programas apresentam valores parecidos em regiões de máximos e mínimos, contudo, fora destas foram obtidos grandes diferenças.



## **6.2. Sugestões para Futuros Trabalhos**

São apresentadas a seguir algumas sugestões para a continuação deste trabalho:

- Comparação entre a modelagem dos cabos nos programas SAP2000 e SOFISTIK.
- Verificação do ELU e ELS.
- Revisão total do projeto, ou seja, elaboração de um novo projeto com normas vigentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984, *Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre*. NBR 7188. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, *Ações e Segurança nas Estruturas - Procedimento*. NBR 8681. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, *Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento*. NBR 6118. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, *Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido - Procedimento*. NBR 7187. Rio de Janeiro.

COMPUTERS & STRUCTURES, INC. Optimized Modeling and Design of Structures using SAP2000. Disponível em: < <http://www.csiberkeley.com/> > Acesso em 10 de novembro de 2012.

MEMORIAL DE CÁLCULO E PLANTAS DE FÔRMAS E ARMAÇÃO DO PROJETO ORIGINAL, 1980.

SOFISTIK. *Bridge Design CABD-Concept*, 2010. Disponível em: < <http://www.sofistik.com/en/> > Acesso em 09 de janeiro de 2013.

# ANEXO 1

ESCOLA DE ENGENHARIA / UFRJ

Programa DEGEP para

Determinacao de Propriedades Geometricas

Versao 5 em Pascal, Revisao 0, 15 de Dezembro de 1991

Designacao da secao

seção 3

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L] [L] [] [] [L] s|n s|n  
m 13.00 m 3 2 1.50 m s s

Alturas e Larguras

h1 b1 h2 b2 h3 b3 h4 b4 h5 b5 h6 b6 h7 b7...  
0.28 13.00 0.00 0.80 1.07 0.80 0.00 6.68  
0.16 6.68

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]] [T] []  
C 13.50 4

Alturas e temperaturas

h1 t1 h2 t2 h3 t3 h4 t4 h5 t5 h6 t6 h7 t7...  
0.15 3.00 0.25 0.00 0.93 0.00 0.17 2.50

H= 1.50300 m ZS= 0.49087 m ZI= 1.01213 m

A= 5.52308 m<sup>2</sup> WS= 3.19658 m<sup>3</sup> WI= 1.55028 m<sup>3</sup>

IY= 1.56909 m<sup>4</sup>

Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z S

-0.49087 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.21387 m	1.26887 m <sup>3</sup>
-0.21387 m	1.26887 m <sup>3</sup>
0.00000 m	1.28717 m <sup>3</sup>
0.85213 m	0.99671 m <sup>3</sup>
0.85213 m	0.99671 m <sup>3</sup>
1.01213 m	0.00000 m <sup>3</sup>

Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 3.85 C Dif\_Temp/Altura = -4.24 C/ m

Designacao da secao

seção 4

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	1.64 m	s	s

Alturas e Larguras

h1 b1 h2 b2 h3 b3 h4 b4 h5 b5 h6 b6 h7 b7...

0.28	13.00	0.00	0.80	1.15	0.80	0.00	6.65
0.21	6.65						

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
C	13.50	4

Alturas e temperaturas

h1 t1 h2 t2 h3 t3 h4 t4 h5 t5 h6 t6 h7 t7...

0.15	3.00	0.25	0.00	1.07	0.00	0.17	2.50
------	------	------	------	------	------	------	------

H= 1.63900 m ZS= 0.57717 m ZI= 1.06183 m

A= 5.90657 m<sup>2</sup> WS= 3.74656 m<sup>3</sup> WI= 2.03648 m<sup>3</sup>

$$IY = 2.16239 \text{ m}^4$$

Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.57717 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.30017 m	1.57965 m <sup>3</sup>
-0.30017 m	1.57965 m <sup>3</sup>
0.00000 m	1.61569 m <sup>3</sup>
0.85383 m	1.32408 m <sup>3</sup>
0.85383 m	1.32408 m <sup>3</sup>
1.06183 m	0.00000 m <sup>3</sup>

Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

$$\text{Temp\_media} = 3.60 \text{ C} \quad \text{Dif\_Temp/Altura} = -3.84 \text{ C/ m}$$

Designacao da secao

seção 5

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	1.80 m	s	s

Alturas e Larguras

h1	b1	h2	b2	h3	b3	h4	b4	h5	b5	h6	b6	h7	b7...
0.28	13.00	0.00	0.80	1.27	0.80	0.00	6.60						
0.26	6.60												

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
C	13.50	4

Alturas e temperaturas

h1	t1	h2	t2	h3	t3	h4	t4	h5	t5	h6	t6	h7	t7...
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------

0.15    3.00    0.25    0.00    1.23    0.00    0.17    2.50

H=    1.80100 m    ZS=    0.67324 m    ZI=    1.12776 m  
 A=    6.29946 m<sup>2</sup>    WS=    4.36673 m<sup>3</sup>    WI=    2.60679 m<sup>3</sup>  
 IY=    2.93984 m<sup>4</sup>

Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.67324 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.39624 m	1.92558 m <sup>3</sup>
-0.39624 m	1.92558 m <sup>3</sup>
0.00000 m	1.98839 m <sup>3</sup>
0.87276 m	1.68370 m <sup>3</sup>
0.87276 m	1.68370 m <sup>3</sup>
1.12776 m	0.00000 m <sup>3</sup>

Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media=    3.37 C    Dif\_Temp/Altura =    -3.45 C/ m

Designacao da secao

seção 6

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	1.99 m	s	s

Alturas e Larguras

h1	b1	h2	b2	h3	b3	h4	b4	h5	b5	h6	b6	h7	b7...
0.28	13.00	0.00	0.87	1.41	0.87	0.00	6.55						
0.30	6.55												

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
------	-----	-----

C 13.50 4

#### Alturas e temperaturas

h1 t1 h2 t2 h3 t3 h4 t4 h5 t5 h6 t6 h7 t7...

0.15 3.00 0.25 0.00 1.42 0.00 0.17 2.50

H= 1.98800 m ZS= 0.78472 m ZI= 1.20328 m

A= 6.80639 m<sup>2</sup> WS= 5.07978 m<sup>3</sup> WI= 3.31276 m<sup>3</sup>

IY= 3.98619 m<sup>4</sup>

#### Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.78472 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.50772 m	2.32703 m <sup>3</sup>
-0.50772 m	2.32703 m <sup>3</sup>
0.00000 m	2.43878 m <sup>3</sup>
0.90028 m	2.08742 m <sup>3</sup>
0.90028 m	2.08742 m <sup>3</sup>
1.20328 m	0.00000 m <sup>3</sup>

#### Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 3.12 C Dif\_Temp/Altura = -3.07 C/ m

#### Designacao da secao

seção 7

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	2.20 m	s	s

#### Alturas e Larguras

h1 b1 h2 b2 h3 b3 h4 b4 h5 b5 h6 b6 h7 b7...

0.28 13.00 0.00 1.40 1.57 1.40 0.00 6.49

0.35 6.49

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]] [T] [ ]

C 13.50 4

Alturas e temperaturas

h1 t1 h2 t2 h3 t3 h4 t4 h5 t5 h6 t6 h7 t7...

0.15 3.00 0.25 0.00 1.63 0.00 0.17 2.50

H= 2.20000 m ZS= 0.92156 m ZI= 1.27844 m

A= 8.07540 m<sup>2</sup> WS= 5.98910 m<sup>3</sup> WI= 4.31724 m<sup>3</sup>

IY= 5.51933 m<sup>4</sup>

Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z S

-0.92156 m 0.00000 m<sup>3</sup>

-0.64456 m 2.81981 m<sup>3</sup>

-0.64456 m 2.81981 m<sup>3</sup>

0.00000 m 3.11063 m<sup>3</sup>

0.92844 m 2.50723 m<sup>3</sup>

0.92844 m 2.50723 m<sup>3</sup>

1.27844 m 0.00000 m<sup>3</sup>

Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 2.64 C Dif\_Temp/Altura = -2.70 C/ m

Designacao da secao

seção 8

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L] [L] [ ] [ ] [L] s|n s|n

m 13.00 m 3 2 2.20 m s s



#### Alturas e Larguras

h1	b1	h2	b2	h3	b3	h4	b4	h5	b5	h6	b6	h7	b7...
0.28	13.00	0.00	1.40	1.57	1.40	0.00	6.49						
0.35	6.49												

#### Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
C	13.50	4

#### Alturas e temperaturas

h1	t1	h2	t2	h3	t3	h4	t4	h5	t5	h6	t6	h7	t7...
0.15	3.00	0.25	0.00	1.63	0.00	0.17	2.50						

H= 2.20000 m    ZS= 0.92156 m    ZI= 1.27844 m  
 A= 8.07540 m<sup>2</sup>    WS= 5.98910 m<sup>3</sup>    WI= 4.31724 m<sup>3</sup>  
 IY= 5.51933 m<sup>4</sup>

#### Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.92156 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.64456 m	2.81981 m <sup>3</sup>
-0.64456 m	2.81981 m <sup>3</sup>
0.00000 m	3.11063 m <sup>3</sup>
0.92844 m	2.50723 m <sup>3</sup>
0.92844 m	2.50723 m <sup>3</sup>
1.27844 m	0.00000 m <sup>3</sup>

#### Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 2.64 C    Dif\_Temp/Altura = -2.70 C/ m

#### Designacao da secao

seção 9

Unid	Larg_Super.	Num_trap.	Num_discont.	Alt.	Cal_M_Est.	Cal_Ef_Temp.
[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	2.20 m	s	s

#### Alturas e Larguras

h1	b1	h2	b2	h3	b3	h4	b4	h5	b5	h6	b6	h7	b7...
0.28	13.00	0.00	1.40	1.57	1.40	0.00	6.49						
0.35	6.49												

#### Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
C	13.50	4

#### Alturas e temperaturas

h1	t1	h2	t2	h3	t3	h4	t4	h5	t5	h6	t6	h7	t7...
0.15	3.00	0.25	0.00	1.63	0.00	0.17	2.50						

H= 2.20000 m    ZS= 0.92156 m    ZI= 1.27844 m  
 A= 8.07540 m<sup>2</sup>    WS= 5.98910 m<sup>3</sup>    WI= 4.31724 m<sup>3</sup>  
 IY= 5.51933 m<sup>4</sup>

#### Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.92156 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.64456 m	2.81981 m <sup>3</sup>
-0.64456 m	2.81981 m <sup>3</sup>
0.00000 m	3.11063 m <sup>3</sup>
0.92844 m	2.50723 m <sup>3</sup>
0.92844 m	2.50723 m <sup>3</sup>
1.27844 m	0.00000 m <sup>3</sup>

#### Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 2.64 C Dif\_Temp/Altura = -2.70 C/ m

Designacao da secao

seção 10

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	1.84 m	s	s

Alturas e Larguras

h1	b1	h2	b2	h3	b3	h4	b4	h5	b5	h6	b6	h7	b7...
0.28	13.00	0.00	0.80	1.25	0.80	0.00	6.59						
0.31	6.59												

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
C	13.50	4

Alturas e temperaturas

h1	t1	h2	t2	h3	t3	h4	t4	h5	t5	h6	t6	h7	t7...
0.15	3.00	0.25	0.00	1.27	0.00	0.17	2.50						

H= 1.84000 m ZS= 0.73067 m ZI= 1.10933 m

A= 6.65819 m<sup>2</sup> WS= 4.55946 m<sup>3</sup> WI= 3.00311 m<sup>3</sup>

IY= 3.33145 m<sup>4</sup>

Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.73067 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.45367 m	2.13240 m <sup>3</sup>
-0.45367 m	2.13240 m <sup>3</sup>
0.00000 m	2.21472 m <sup>3</sup>
0.79733 m	1.96043 m <sup>3</sup>

0.79733 m      1.96043 m<sup>3</sup>  
 1.10933 m      0.00000 m<sup>3</sup>

Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media=    3.19 C    Dif\_Temp/Altura =    -3.39 C/ m

Designacao da secao

seção 11

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]    [L]      [ ]      [ ]      [L]    s|n      s|n  
 m    13.00 m      3      2    1.56 m      s      s

Alturas e Larguras

h1 b1 h2 b2 h3 b3 h4 b4 h5 b5 h6 b6 h7 b7...  
     0.28 13.00 0.00 0.80 1.01 0.80 0.00 6.67  
     0.27 6.67

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]      [T]      [ ]  
     C    13.50      4

Alturas e temperaturas

h1 t1 h2 t2 h3 t3 h4 t4 h5 t5 h6 t6 h7 t7...  
     0.15 3.00 0.25 0.00 0.99 0.00 0.17 2.50

H=    1.56000 m    ZS=    0.59809 m    ZI=    0.96191 m  
 A=    6.23496 m<sup>2</sup>    WS=    3.56766 m<sup>3</sup>    WI=    2.21825 m<sup>3</sup>  
 IY=    2.13377 m<sup>4</sup>

Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

    Z              S  
     -0.59809 m      0.00000 m<sup>3</sup>

-0.32109 m	1.65497 m <sup>3</sup>
-0.32109 m	1.65497 m <sup>3</sup>
0.00000 m	1.69621 m <sup>3</sup>
0.68791 m	1.50692 m <sup>3</sup>
0.68791 m	1.50692 m <sup>3</sup>
0.96191 m	-0.00000 m <sup>3</sup>

Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 3.41 C Dif\_Temp/Altura = -4.15 C/ m

Designacao da secao

seção 12

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	1.36 m	s	s

Alturas e Larguras

h1 b1 h2 b2 h3 b3 h4 b4 h5 b5 h6 b6 h7 b7...

0.28 13.00 0.00 0.80 0.85 0.80 0.00 6.72

0.24 6.72

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
C	13.50	4

Alturas e temperaturas

h1 t1 h2 t2 h3 t3 h4 t4 h5 t5 h6 t6 h7 t7...

0.15 3.00 0.25 0.00 0.79 0.00 0.17 2.50

H= 1.36000 m ZS= 0.50191 m ZI= 0.85809 m

A= 5.86499 m<sup>2</sup> WS= 2.87325 m<sup>3</sup> WI= 1.68061 m<sup>3</sup>

IY= 1.44211 m<sup>4</sup>

Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.50191 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.22491 m	1.30864 m <sup>3</sup>
-0.22491 m	1.30864 m <sup>3</sup>
0.00000 m	1.32887 m <sup>3</sup>
0.62209 m	1.17407 m <sup>3</sup>
0.62209 m	1.17407 m <sup>3</sup>
0.85809 m	0.00000 m <sup>3</sup>

Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 3.63 C Dif\_Temp/Altura = -4.91 C/ m

Designacao da secao

seção 13

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	1.24 m	s	s

Alturas e Larguras

h1	b1	h2	b2	h3	b3	h4	b4	h5	b5	h6	b6	h7	b7...
0.28	13.00	0.00	0.80	0.77	0.80	0.00	6.75						
0.20	6.75												

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
C	13.50	4

Alturas e temperaturas

h1	t1	h2	t2	h3	t3	h4	t4	h5	t5	h6	t6	h7	t7...
0.15	3.00	0.25	0.00	0.67	0.00	0.17	2.50						

H= 1.24000 m    ZS= 0.43752 m    ZI= 0.80248 m  
 A= 5.55049 m<sup>2</sup>    WS= 2.44854 m<sup>3</sup>    WI= 1.33495 m<sup>3</sup>  
 IY= 1.07128 m<sup>4</sup>

Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.43752 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.16052 m	1.07676 m <sup>3</sup>
-0.16052 m	1.07676 m <sup>3</sup>
0.00000 m	1.08706 m <sup>3</sup>
0.60448 m	0.94090 m <sup>3</sup>
0.60448 m	0.94090 m <sup>3</sup>
0.80248 m	0.00000 m <sup>3</sup>

Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 3.84 C    Dif\_Temp/Altura = -5.49 C/ m

Designacao da secao

seção 14

Unid Larg\_Super. Num\_trap. Num\_discont. Alt. Cal\_M\_Est. Cal\_Ef\_Temp.

[L]	[L]	[ ]	[ ]	[L]	s n	s n
m	13.00 m	3	2	1.20 m	s	s

Alturas e Larguras

h1	b1	h2	b2	h3	b3	h4	b4	h5	b5	h6	b6	h7	b7...
0.28	13.00	0.00	0.80	0.76	0.80	0.00	6.77						
0.16	6.77												

Unid\_Temp Temp\_Sup Num\_Interv

[T]]	[T]	[ ]
C	13.50	4

#### Alturas e temperaturas

h1 t1 h2 t2 h3 t3 h4 t4 h5 t5 h6 t6 h7 t7...

0.15 3.00 0.25 0.00 0.63 0.00 0.17 2.50

H= 1.20000 m ZS= 0.39916 m ZI= 0.80084 m

A= 5.29396 m<sup>2</sup> WS= 2.26267 m<sup>3</sup> WI= 1.12779 m<sup>3</sup>

IY= 0.90318 m<sup>4</sup>

#### Valores para Z=Distancia e S=Momento\_Estatico

Z	S
-0.39916 m	0.00000 m <sup>3</sup>
-0.12216 m	0.93865 m <sup>3</sup>
-0.12216 m	0.93865 m <sup>3</sup>
0.00000 m	0.94462 m <sup>3</sup>
0.64084 m	0.78035 m <sup>3</sup>
0.64084 m	0.78035 m <sup>3</sup>
0.80084 m	0.00000 m <sup>3</sup>

#### Temperaturas media e Diferenca de Temperatura/Altura

Temp\_media= 4.02 C Dif\_Temp/Altura = -5.67 C/ m

Fim do Programa